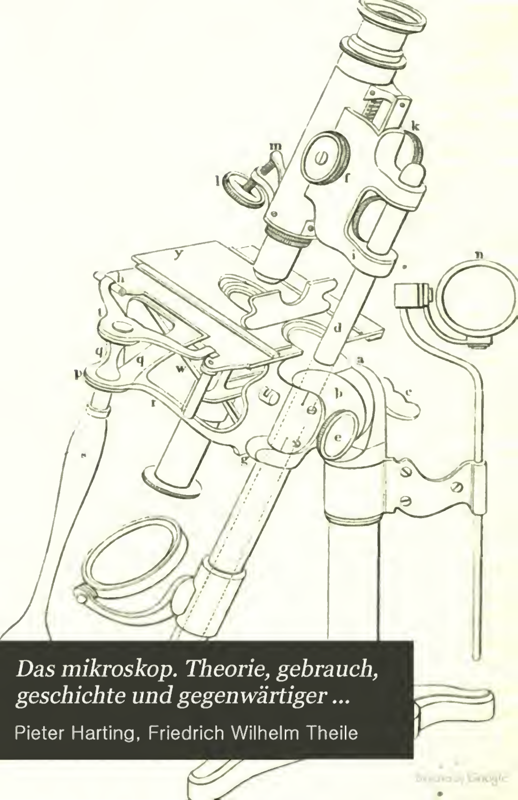
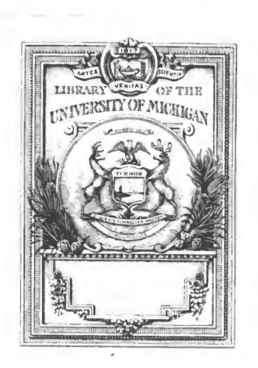

Das mikroskop. Theorie, gebrauch, geschichte und gegenwärtiger ...
Pieter Harting, Friedrich Wilhelm Theile



Digitized by Google

QH
211
.H335
1866

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

Digitized by Google

DAS

MIKROSKOP.

THEORIE, GEBRAUCH, GESCHICHTE

UND

GEGENWÄRTIGER ZUSTAND DESSELBEN

VON

P. HARTING,
Professor in Utrecht.

DEUTSCHE ORIGINALAUSGABE,
VOM VERFASSER
REVIDIRT UND VERVOLLSTÄNDIGT.

HERAUSGEGEBEN
VON
DR. FR. WILH. THEILE,
Grossherzoglich Sächsischem Medicinalrathe.

IN DREI BÄNDEN.

ERSTER BAND.

Theorie und allgemeine Beschreibung des Mikroskopes.

Zweite wesentlich verbesserte und vermehrte Auflage.

MIT 466 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN
UND EINER TAFEL IN FARBENDRUCK.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.
1866.

THEORIE

UND

ALLGEMEINE BESCHREIBUNG

DES

MIKROSKOPES.

VON

P. HARTING,
Professor in Utrecht.

DEUTSCHE ORIGINALAUSGABE,

VOM VERFASSER

REVIDIRT UND VERVOLLSTÄNDIGT.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. FR. WILH. THEILE,
Grossherzoglich Sächsischem Medicinalrathe.

Zweite wesentlich verbesserte und vermehrte Auflage.

MIT 134 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN
UND EINER TAFEL IN FARBENDRUCK.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.
1866.

Digitized by Google



Die Herausgabe einer Uebersetzung in englischer und französischer Sprache, sowie in anderen modernen Sprachen wird vorbehalten.

Digitized by Google

VORREDE.

Ueber das Mikroskop sind bereits in verschiedenen Sprachen mehrfache Schriften erschienen. Wenn daher mein Buch, welches 1848 bis 1850 in drei Bänden in Holländischer Sprache erschienen ist, dem deutschen Publikum jetzt in einem neuen Gewande vorgelegt wird, so halte ich mich für verpflichtet, mit ein Paar Worten den Zweck anzugeben, der mir bei seiner Abfassung vorschwebte, und mich über den Plan auszusprechen, wie ich mein Ziel zu erreichen suchte.

Der Zweck, den ich verfolgte, ist allerdings auf dem Titel ziemlich vollständig ausgesprochen, und habe ich, des besseren Verständnisses halber, nur wenig beizufügen.

Manche Personen sind wohl der Ansicht, das mikroskopische Sehen sei so schwierig nnd so ganz verschieden von dem Sehen mit blossem Ange, dass nur eine recht anhaltende Uebung, verbunden mit viel Mühe und Anstrengung, vor den mancherlei Irrthümern bewahren könne, in die man sonst so leicht verfällt. Man entschuldigt wohl selbst damit den Nichtgebrauch des Mikroskopes bei wissenschaftlichen Untersuchungen. Dagegen findet man auch wiederum solche, die da glauben, ein Mikroskop und ein Paar gesunde Augen reichten schon aus zum mikroskopischen Beobachter.

303691

Digitized by Google

Auf beiden Seiten befindet man sich im Irrthume. Wenn die ersteren sich die Sache zu schwierig denken, insofern das mikroskopische Sehen und das Sehen mit blossem Auge im Wesentlichen das Nämliche sind, so nehmen sie die anderen offenbar zu leicht, insofern nämlich die Umstände, unter denen die Objecte beim mikroskopischen Beobachten vorkommen, in der Regel sich mehr oder weniger von jenen unterscheiden, woran wir beim Gebrauche des blossen Auges von Kindesbeinen her gewöhnt sind.

Um den Einfluss dieser Umstände zu beurtheilen und sich vor den daraus entspringenden Irrthümern zu schützen, oder mit anderen Worten, um das Wahrgenommene gehörig deuten zu können, bedarf es durchaus einer genauen Kenntniss des benutzten Instrumentes, namentlich seiner optischen Zusammensetzung. Man muss im Stande sein, den verschiedenen Gang der Lichtstrahlen durch die mancherlei brechenden Medien in dem Mikroskoprohre zu verfolgen, mögen nun diese Lichtstrahlen vom Objecte ausgehen, oder mögen sie durch den Beleuchtungsapparat in das Gesichtsfeld gebracht und durch die dort befindlichen Objecte theilweise zurückgehalten oder unregelmässig zerstreut werden. Diese Kenntniss würde aber ungenügend, die ganze Theorie des mikroskopischen Sehens würde sehr unvollständig sein, wenn der Bau und die Verrichtung des Auges als optisches Instrument nicht ebenfalls genau bekannt wären. Denn sobald das Auge über das Mikroskop kommt, machen beide zusammen Ein optisches Ganzes aus: alle Theile desselben tragen dazu bei, das Bildchen zu erzeugen, welches auf der Netzhaut einen Eindruck hervorruft, dessen fernere Deutung dann eine reine Verstandessache ist.

Damit ist der Inhalt des ersten Bandes bezeichnet. Er enthält die allgemeine Beschreibung jener Instrumente, welche den Collectivnamen Mikroskop führen und die Angabe ihres Verhaltens zum Auge, wodurch sie erst ihre wahre Bedeutung erlangen.

Eine solche theoretische Betrachtung der Instrumente, die gegenwärtig zum mikroskopischen Sehen benutzt werden, verschafft an und für sich eine genügende Kenntniss derselben. Es giebt aber noch eine andere Quelle, woraus man mit Vortheil schöpfen

kann, nämlich die Geschichte: diese lehrt uns, wie im Verlaufe der Zeiten das eine Instrument allmälig aus dem anderen entstanden ist; sie zeigt uns, wie durch die gemeinsamen Bestrebungen Vieler das Mikroskop endlich jene Stufe der Vollkommenheit erlangt hat, die in den ersten Jahren dieses Jahrhunderts auch noch nicht entfernt zu erwarten stand. Trägt eine solche geschichtliche Uebersicht auch nicht wesentlich dazu bei, unsere Kenntniss des Mikroskopes vollständiger und gründlicher zu machen, so ist sie doch ganz besonders dazu geeignet, die Vorstellungen und Ansichten über den Nutzen und die Bestimmung der verschiedenen Theile, woraus unsere jetzigen Mikroskope bestehen, zu läutern und aufzuhellen.

Diese Geschichte hat aber auch an und für sich ihre Bedeutung, und zu ihrer Bearbeitung fühlte ich mich um so mehr hingezogen, als frühere Autoren dieselbe ganz vernachlässigt oder doch nur ganz oberflächlich behandelt hatten, so dass man auf den wenigen dafür bestimmten Blattseiten einer Menge Irrthümer begegnete, die aus einer Schrift in die andere übergingen und zuletzt eine Art Bürgerrecht erlangten. Zudem ist dieses Instrument dem Holländischen Boden erwachsen, und dadurch durfte ich mich wohl um so mehr angespornt fühlen, seinen ferneren Entwickelungsgang in Holland und anderwärts bis zur gegenwärtigen Zeit zu verfolgen und in eine zusammenhängende Uebersicht zu bringen. Der dritte Band ist dieser Geschichte des Mikroskopes gewidmet.

Zwischen den ersten nnd dritten Band ist jener eingeschoben, worin von der mikroskopischen Untersuchung gehandelt wird. Ich wollte diesen Abschnitt erst ans Ende des ganzen Werkes bringen, habe aber diese anscheinend mehr logische Ordnung deshalb aufgegeben, weil die Betrachtung der verschiedenen Hülfswerkzeuge zur mikroskopischen Untersuchung ein Vertrautsein mit den Fällen voraussetzt, wo dieselben Anwendung finden können.

Mancher erwartet vielleicht in dem zweiten Bande noch viel mehr zu finden, etwa eine Histologie der Pflanzen und Thiere, eine Geschichte der Infusorien u. s. w. Frühere Autoren über das Mikroskop und dessen Gebrauch haben dieses Beispiel gegeben und

Digitized by Google

einen grossen oder selbst wohl den grössten Theil ihrer Werke mit einem bunten mikroskopischen Allerlei angefüllt, das offenbar mehr für sogenannte Liebhaber oder Dilettanten bestimmt war, als für jene, die sich mit Ernst der Wissenschaft und der mikroskopischen Untersuchung der Natur widmen. Dieses Zusammenhäufen ganz fremdartiger Elemente in einer und der nämlichen Schrift hat unter anderen auch den Nachtheil gehabt, dass man in den Irrthum verfallen ist, welcher noch gegenwärtig von vielen getheilt wird, als wäre die Mikroskopie oder die Mikrographie ein selbstständiger Wissenszweig, gleich der Chemie, der Botanik, der Zoologie u. s. w. Mit gleichem Rechte würde man jedoch alle Beobachtungen, zu denen nur das blosse Auge erfordert wird, als Ophthalmoskopie oder Makroskopie zusammenfassen können. Seitdem man allgemein erkannt hat, dass das Mikroskop in allen Zweigen der Naturwissenschaft mit Nutzen Anwendung findet, müssen die mit demselben erlangten Resultate dort eingereiht werden, wohin sie wirklich gehören, also in den Büchern, welche über den einen oder den anderen besondern Zweig handeln. Anatomieen, in denen die Gewebe und der feinere Bau der thierischen Organe nicht dargestellt wären, Handbücher der Botanik, worin die Entwickelungsgeschichte der Pflanzenzelle und der Pflanzenorgane fehlte, Handbücher über Zoologie, in denen die blos mikroskopischen Thierchen nicht mit abgehandelt wären, Darstellungen der Geologie, worin des Einflusses, welchen zahllose kleine Organismen auf die Bildung der Erdrinde ausgeübt haben, keine Erwähnung geschähe, würden jetzt eben so viele Anachronismen sein.

Das ist der Grund, weshalb ich eigentlich mikroskopische Beobachtungen gänzlich übergangen und nur hin und wieder zur Erläuterung passende Beispiele angeführt habe. Desto sorgsamer war ich bei der Aufzählung und Betrachtung der die Untersuchung fördernden Mittel, wobei ich mich auf eine fast dreissigjährige Erfahrung stützen konnte. Sehr ausführlich bin ich auch bei den chemischen Eigenschaften der mikroskopischen Objecte gewesen. Das Mikrochemische würde freilich eigentlich in die Chemie gehören

Doch sind die chemischen Handbücher in dieser Beziehung meistens noch zu arm, und die Aufnahme der Mikrochemie in die Lehre vom Mikroskope lässt sich auch wohl rechtfertigen: wie die mechanischen Hülfsmittel, Messer, Scheeren, Nadeln u. s. w. zur Erkennung der morphologischen Bestandtheile verhelfen, so lehren uns die chemischen Hülfsmittel die Substanzen kennen, aus denen die Körper zusammengesetzt sind.

Selbstverständlich habe ich diese deutsche Ausgabe meines Werkes so vollständig als möglich zu machen gesucht, indem ich alle neuen Verbesserungen aufgenommen habe, mögen dieselben Instrumente oder Untersuchungsmethoden betreffen. Einen grossen Theil dieser Zusätze hatte ich bereits in einer besonderen Schrift: *De nieuwste verbeteringen van het Mikroskoop en zyn gebruik sedert* 1850. *Tiel* 1858, veröffentlicht, und diese wurden der deutschen Ausgabe einverleibt. Ausserdem sind darin noch zahlreiche Veränderungen untergeordneter Art vorgenommen worden, und deshalb darf sie mit vollstem Rechte den Titel einer verbesserten und vervollständigten Originalausgabe führen.

Ich habe nur noch eine angenehme Pflicht zu erfüllen, indem ich Professor Theile, der seit einer Reihe von Jahren zur Verbreitung der Holländischen medicinischen Literatur in Deutschland fortwährend thätig gewesen ist, für die grosse Sorgfalt und Genauigkeit bei dieser Uebersetzung meinen vollen Dank ausspreche. Sollte seine Erwartung, dass durchs Verpflanzen meiner Schrift auf deutschen Boden seinen Landsleuten ein nützlicher Dienst erwiesen werde, sich erfüllen, und sollte dieselbe auch in Deutschland zur Förderung der Wissenschaft beitragen, so würde ich mich für die Zeit und Mühe, welche ich dieser deutschen Ausgabe gewidmet habe, reichlich belohnt erachten.

Utrecht, 26. August 1858.

P. Harting.

Die neue deutsche Auflage dieses Werkes erscheint jetzt ebenfalls in drei gesonderten Bänden, wie das ursprüngliche holländische Original, so dass jeder Band einen der drei Haupttheile enthält, von denen im Vorhergehenden die Rede war, und für sich ein abgeschlossenes Ganzes bildet. Der Verfasser und der Uebersetzer sind gleichmässig bemüht gewesen, das Werk zu verbessern: ersterer durch Einfügung alles dessen, was seit sieben Jahren theoretisch und praktisch in der Lehre vom Mikroskope geleistet wurde; letzterer durch eine durchgängige Revision des Textes, die namentlich darauf gerichtet war, jene einer Uebersetzung nur zu leicht anhaftende exotische Färbung möglichst zu verwischen.

Utrecht, im März 1866. Weimar, im März 1866.

P. Harting. Fr. W. Theile.

Digitized by Google

Inhaltsverzeichniss des ersten Bandes.

Dritter Abschnitt.

Begriff und Eintheilung der Mikroskope.

Das Wort **Mikroskop** ist eine Collectivbezeichnung; man begreift darunter eine Anzahl optischer Instrumente, die, wie verschieden auch sonst ihre Einrichtung, ihre Wirkungsweise und ihr Gebrauch sein mag, doch darin übereinstimmen, dass sie kleine Gegenstände in einem vergrösserten Maassstabe zur Wahrnehmung bringen. 1

Man kann mehrere Arten von Mikroskopen unterscheiden. 2

A. Mit Rücksicht darauf, wie die beabsichtigte Ablenkung der Lichtstrahlen in einem Mikroskope zu Stande kommt, unterscheidet man:

a. **dioptrische**, in denen die Lichtstrahlen gebrochen werden;

b. **katoptrische**, in denen die Lichtstrahlen reflectirt werden;

c. **katadioptrische**, in denen Brechung und Reflexion der Lichtstrahlen stattfindet.

B. In Bezug auf die Art und Weise, wie der betrachtete Gegenstand oder dessen Bild wahrgenommen wird, unterscheidet man folgende Arten von Mikroskopen:

a. **Einfache**, d. h. solche, mit denen der Gegenstand ohne vorgängige Umkehrung des Bildes in der ursprünglichen Richtung gesehen wird, mögen dioptrische oder katoptrische Hülfsmittel dabei benutzt werden. Es giebt daher dioptrische sowohl als katoptrische einfache Mikroskope.

b. **Zusammengesetzte**, mittelst deren das auf dioptrischem oder auf katoptrischem Wege erhaltene, bereits vergrösserte und verkehrte Bild eines Gegenstandes durch ein einfaches Mikroskop in noch stärkerer Vergrösserung wahrgenommen wird, wobei das Bild ein verkehrtes bleibt. Es giebt daher zusammengesetzte dioptrische Mikroskope, und die katadioptrischen Mikroskope gehören natürlich immer zu den zu-

sammengesetzten. Zusammengesetzte katoptrische Mikroskope kennt man aber noch nicht.

c. Die Bildverkehrung aufhebende, mit denen das zuerst verkehrt sich darstellende Bild durch eine besondere Einrichtung wiederum in die gleiche Lage mit dem Objecte gebracht wird. Diese Einrichtung ist entweder dioptrischer Art, und man kann das Mikroskop dann als ein doppelt zusammengesetztes ansehen; oder sie ist katadioptrischer Art, wenn durch eine zweimalige vollständige Reflexion der Lichtstrahlen, bevor dieselben zum Auge gelangen, die Geradstellung des Bildes erreicht wird.

d. Bildmikroskope. Unter diesem allgemeinen Namen kann man die verschiedenen Arten von Mikroskopen zusammenfassen, deren Einrichtung darauf beruht, dass das vergrösserte Bild eines stark beleuchteten Objectes im dunklen Raume auf einem Schirme aufgefangen und hier beobachtet wird. Zur Beleuchtung kann jedes Licht dienen, sobald es die ausreichende Stärke zu dem beabsichtigten Zwecke besitzt. Hierher gehören die Sonnen-, Lampen-, Gas-, photoelektrischen Mikroskope. Zur Vergrösserung können katoptrische Hülfsmittel benutzt werden, in der Regel jedoch gehören diese Mikroskope zu den dioptrischen.

Bei älteren wie bei neueren Autoren kommen noch andere Benennungen vor. So hat man polydynamische Mikroskope, die als Mikroskop und zugleich auch als Teleskop dienen können, Universalmikroskope, welche diesen Namen davon führen, dass sie mehrere Zwecke erfüllen sollen, dass sie namentlich zugleich als einfaches und als zusammengesetztes Mikroskop dienen sollen, desgleichen pankratische Mikroskope oder solche, bei denen durch wechselnden Abstand der Linsen die Vergrösserung willkürlich grösser oder kleiner genommen werden kann. Man hat ferner Taschenmikroskope, Wassermikroskope, botanische Mikroskope, polarisirende Mikroskope u. s. w. Alle diese Namen beruhen aber auf ganz untergeordneten Beziehungen und sie könnten ins Endlose vermehrt werden, wenn man für jede besondere mechanische Einrichtung oder für jeden bestimmteren Zweck eines Mikroskops auch eine besondere Benennung nöthig erachtete.

Die optische Zusammensetzung und die Wirkungsweise ist bei jedem Mikroskope die Hauptsache, und alle bisher bekannt gewordenen Mikroskope lassen sich unter einer der vier genannten Hauptarten unterbringen.

3 Manche Autoren, ältere wie neuere, haben das Wort Mikroskop durch Engyskop (ἐγγὺς, nahe, und σκοπέω, ich untersuche durchs Gesicht) ersetzen wollen, als Gegensatz von Teleskop. Diese Gegenüberstellung mag logisch richtiger sein, man braucht aber deshalb den gebräuch-

Digitized by Google

lichen Namen, der überdies ganz verständlich ist und den Zweck des Instruments klar angiebt, noch nicht durch einen anderen zu ersetzen. Man könnte ja mit gleichem Rechte von den Astronomen verlangen, sie sollten ihr Teleskop Makroskop nennen.

Der ausführlicheren Betrachtung der Mikroskope selbst soll des bes- 4
sern Verständnisses halber eine Uebersicht der Gesetze vorausgeschickt werden, denen das Licht gehorcht, wenn seine Strahlen durch eine spiegelnde Oberfläche, oder aber durch den Uebertritt in ein anderes Medium von der ursprünglichen Richtung abgelenkt werden.

Digitized by Google

Erster Abschnitt.

Allgemeine katoptrische und dioptrische Grundsätze.

Erstes Kapitel.

Richtung der Lichtstrahlen und deren Reflexion durch spiegelnde Oberflächen.

5 Von allen Punkten eines leuchtenden oder erleuchteten Körpers gehen Lichtkegel aus, deren Spitzen sich auf der leuchtenden Oberfläche befinden. Im ursprünglichen Zustande weichen demnach alle Strahlen eines solchen Kegels auseinander, derselbe besteht aus sogenannten divergirenden oder auseinanderfahrenden Strahlen.

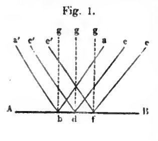
6 In dem Maasse, als die Entfernung des leuchtenden Körpers zunimmt, wird die Spitze der Lichtkegel kleiner und kleiner, und ihre zusammensetzenden Strahlen nähern sich allmälig immer mehr dem Parallelismus. In solchem Falle befinden sich die Himmelskörper. Vollkommen parallele Strahlen kommen freilich nicht von denselben; bei dem grossen Abstande jedoch ist die Abweichung vom Parallelismus so ausnehmend gering, dass man unbedenklich davon absehen kann. Weiterhin wird der optischen Hülfsmittel Erwähnung geschehen, wodurch Lichtstrahlen, die eine andere Richtung haben, parallel gemacht werden können.

7 Ursprünglich divergirenden oder parallelen Lichtstrahlen kann wiederum eine solche Richtung verschafft werden, dass sie sich einander nähern. So gerichtete Strahlen heissen dann convergirende.

8 Betrachten wir jetzt, was geschieht, wenn Lichtbündel, deren Strahlen auf eine der drei genannten Arten gerichtet sind, auf eine spiegelnde Fläche treffen.

Ist es eine ebene Fläche, wie AB (Fig. 1), dann werden alle auffallenden Strahlen ab, cd, ef unter dem nämlichen Winkel reflectirt, unter welchem sie auf die Oberfläche AB auffallen. Die Winkel abg, cdg, efg, welche die auffallenden Strahlen mit den Einfallslothen bg, dg und fg bilden, sind gleich den Winkeln $a'bg$, $c'dg$ und $e'fg$, welche die reflectirten Strahlen $a'b$, $c'd$ und $e'f$ mit den nämlichen Einfallslothen bilden, oder allgemein ausgedrückt: **der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.**

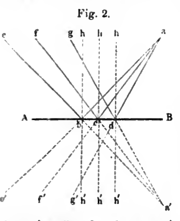
Fig. 1.



Sind die auffallenden Strahlen einander **parallel**, wie in Fig. 1, 9
lann behaupten auch die reflectirten Strahlen den Parallelismus. Sie folgen aber jetzt in umgekehrter Richtung auf einander; denn der Strahl ab, ursprünglich an der oberen Seite des Lichtbündels befindlich, liegt nach stattgefundener Reflexion an dessen unterer Seite.

Denken wir uns die auffallenden Lichtstrahlen nicht parallel, son- 10
lern **divergirend**, dann müssen sie nach dem oben Mitgetheilten unter verschiedenen Winkeln reflectirt werden, da ein jeder die spiegelnde Oberfläche unter einem anderen Winkel trifft. Werden (Fig. 2) die vom Punkte a kommenden divergirenden Strahlen ab, ac und ad von der Oberfläche des Spiegels AB reflectirt, so bekommen sie die Richtungen eb, fc und gd, welche mit den Einfallslothen hb, hc und hd gleiche Winkel bilden wie die ursprünglichen Strahlen, und wie die Verlängerungen $e'b$, $f'c$ und $g'd$ dieser ursprünglichen Strahlen mit den verlängerten Einfallslothen $h'b$, $h'c$ und $h'd$. Die Verlängerungen der reflectirten Strahlen würden einander hinter dem Spiegel in einem nkte a' treffen, der eben so weit von der Hinterfläche von AB entfernt als a von dessen Vorderfläche absteht.

Fig. 2.



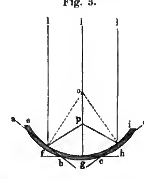
Divergirende Strahlen erfahren also durch die Reflexion keine Ablerung in dem Grade der Divergenz, nur allein ihre Richtung ändert 1.

Das Nämliche gilt, nur im umgekehrten Sinne, von **convergiren-** 11

den Strahlen. Denken wir uns (Fig. 2) *eb*, *fc* und *gd* als die zusammensetzenden Strahlen eines Lichtkegels, so werden sich diese Strahlen, wenn ihnen kein Körper im Wege steht, im Punkte *a'* vereinigen. Werden dieselben aber von der spiegelnden Fläche *AB* aufgefangen, so werden sie alle reflectirt und vereinigen sich im Punkte *a*, in gleichem Abstande von *AB*, aber auf der entgegengesetzten Seite.

12 Es fällt nnn nicht schwer, einzusehen, was geschehen muss, wenn die Lichtstrahlen statt anf eine ebene, auf eine concave Fläche anffallen, welche den Abschnitt einer Kugelfläche darstellt. Wenn *ab*, *bc* und *cd* (Fig. 3) Durchschnitte ebener Spiegel sind, welche die Oberfläche der Kugel, deren Mittelpunkt in *o* liegt, in je Einem Punkte berühren, dann sind die Radien *of*, *og* und *oh* Einfallslothe anf die genannten Flächen.

Fig. 3.



Denken wir uns anf die Berührungspunkte *f*, *g* und *h* die Strahlen *lf*, *lg* nnd *lh* anftreffend, so werden die Reflexionswinkel *ofp* und *ohp* den Einfallswinkeln *lfo* und *lho* gleich sein müssen, der Strahl *lg* aber, welcher mit dem Radins oder dem Einfallslothe *og* zusammenfällt, wird in der ursprünglichen Richtung reflectirt werden. Demnach vereinigen sich alle drei Strahlen im Punkte *p*, und aus einfachen geometrischen Principien folgt, dass dieser Punkt den Radins *og* halbiren muss.

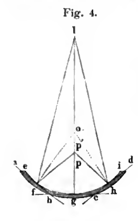
Denken wir uns ferner einen concaven sphärischen Spiegel *egi* aus einer unendlichen Anzahl ebener spiegelnder Oberflächen zusammengesetzt, so ist klar, dass die parallel auffallenden Strahlen insgesammt sich nahezu in dem nämlichen Punkte vereinigen werden. Man bezeichnet diesen Punkt als den Brennpunkt paralleler Strahlen oder als den Hauptbrennpunkt des Spiegels, und den Abstand zwischen *p* und *g* nennt man die Brennweite, die somit immer dem halben Radins jener Kngel gleich ist, nach deren Oberfläche der Spiegel geformt ist.

13 Treffen divergirende Strahlen auf einen concaven Spiegel, so sind verschiedene Fälle möglich.

a. Der leuchtende Punkt liegt weiter von der Spiegelfläche entfernt, als der Mittelpnnkt der Kngel, nach deren Oberfläche der Spiegel geformt ist. In diesem Falle (Fig. 4) werden die Strahlen *lf*, *lg* und *lh* sich ebenfalls in einem Punkte vor dem Spiegel vereinigen. Da aber jetzt die Winkel *lfo* und *lho*, welche durch die Strahlen *lf* und *lh* mit den zngehörigen Einfallslothen entstehen, kleiner sind als bei parallel auffallen-

den Strahlen, so müssen die entsprechenden Reflexionswinkel ofp' und ohp' ebenfalls kleiner sein; folglich werden die reflectirten Strahlen fp', gp' und hp' einander in einem Punkte p' treffen, der sich dem Mittelpunkte o näher befindet. Hieraus folgt, dass der Brenn- oder Vereinigungspunkt solcher divergirenden Strahlen stets zwischen dem Hauptbrennpunkte p und dem Mittelpunkte der Spiegelfläche gelegen ist. Auch ist es klar, dass die Entfernung zwischen p' und o um so geringer sein wird, je mehr sich der leuchtende Punkt dem Mittelpunkte o nähert.

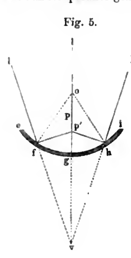
Fig. 4.



b. Der leuchtende Punkt liegt selbst im Mittelpunkte o; dann fällt auch der Vereinigungspunkt der Strahlen in diesen Mittelpunkt.

c. Der leuchtende Punkt befindet sich zwischen dem Mittelpunkte o und dem Hauptbrennpunkte p des Spiegels, z. B. in p' (Fig. 4). In diesem Falle werden sich die reflectirten Strahlen jenseits des Mittelpunktes in l vereinigen, weil auch hier wieder die Reflexionswinkel lfo und lho und die Einfallswinkel $p'fo$ und $p'ho$ einander gleich sein müssen. Auch ist es klar, dass, je näher der leuchtende Punkt dem Hauptbrennpunkte des Spiegels kommt, der Vereinigungspunkt der Strahlen sich um so mehr davon entfernen wird. Liegt er aber, wie p in Fig. 3, in dem Hauptbrennpunkte selbst, dann werden die reflectirten Strahlen lf, lg und lh einander parallel gehen.

Fig. 5.



d. Der leuchtende Punkt p' (Fig. 5) befindet sich endlich zwischen dem Hauptbrennpunkte und dem Spiegel. Dann gehen die reflectirten Strahlen lf, lg und lh divergirend auseinander, ohne sich zu vereinigen. Der Punkt aber, wo ihre Verlängerungen fv, gv, hv hinter dem Spiegel sich vereinigen würden, heisst der **scheinbare Brennpunkt**.

Convergirende Strahlen haben den Brennpunkt immer zwischen dem Hauptbrennpunkte und der spiegelnden Oberfläche. Denken wir uns nämlich (Fig. 5) einen aus convergirenden Strahlen bestehenden Lichtkegel, mit lf und lh als Grenzstrahlen, auf den Spiegel auffallend, so werden die Einfallswinkel lfo und lho mit den Reflexionswinkeln ofp' und ohp' gleiche Grösse haben 14

Digitized by Google

müssen. Je stärker die Strahlen convergiren, um so mehr werden diese Winkel an Grösse zunehmen, und um so mehr wird sich p' als Vereinigungspunkt der reflectirten Strahlen der Spiegelfläche nähern. Hingegen wird dieser Vereinigungspunkt sich vom Spiegel um so mehr entfernen, je mehr die Convergenz der auffallenden Strahlen abnimmt. Niemals aber wird er die halbe Entfernung zwischen *o* und *g* überschreiten, es müssten denn die auffallenden Strahlen zu convergiren aufhören und parallel oder divergirend werden, wie in Fig. 3 und 4.

15 Es wurde bisher für divergirende Strahlen der einfachste Fall angenommen, dass sich nämlich der leuchtende Punkt innerhalb einer Linie befindet, welche mit der Axe des Kugelsegments zusammenfällt und gerade durch die Mitte des Spiegels geht. Diese Linie heisst die Axe des Hohlspiegels. Werden nun aber Hohlspiegel in optischen Instrumenten, also auch in Mikroskopen benutzt, dann kommt es hauptsächlich darauf an, dass von den Objecten ein Bild entsteht, was nur bei Mitbetheiligung aller von dem Objecte kommenden Strahlen möglich ist. Es müssen daher jene ausserhalb der Axe gelegenen Strahlen nicht minder berücksichtigt werden, als die Axenstrahlen.

Fig. 6.

Wenn von einem leuchtenden Punkte *c* (Fig. 6) Strahlen auf die Oberfläche des Spiegels *ab* fallen, der *o* zum Mittelpunkte hat, so wird der Strahl *ca* in der Richtung *af* reflectirt werden, denn dem Einfallswinkel *cao* muss der Reflexionswinkel *oaf* gleich sein. Aus dem nämlichen Grunde wird der Strahl *cb* in der Richtung *bf* reflectirt werden, und dem Einfallswinkel *cbo* ist der Reflexionswinkel *obf* gleich. Befindet sich dann in *d* ein anderer leuchtender Punkt, so müssen natürlich die Strahlen *da* und *db* in den Richtungen *ae* und *be* reflectirt werden. Die von *c* ausgehenden Strahlen treffen in *f*, die von *d* ausgehenden in *e* zusammen, und wenn von den übrigen Punkten eines zwischen *c* und *d* befindlichen Gegenstandes Strahlen kommen, die irgendwo in der Linie *ef* ihren Vereinigungspunkt haben, so wird hier ein verkehrtes Bild vom Gegenstande *cd* entstehen.

Ist der leuchtende Gegenstand in einer geraden Ebene gelegen, dann wird das Bild desselben in einer nach einem Kegelschnitte gebogenen Ebene zu liegen kommen, aus Gründen, welche weiterhin ausführlicher angegeben werden sollen, wenn von Erzeugung des Bildes durch gewölbte Linsen die Rede sein wird.

16 Für die relative Lage des Bildes und des Objectes gelten die nämlichen Regeln, welche soeben (§. 13) für die relative Lage des Strahlen-

Digitized by Google

vereinigungspnnktes und des lenchtenden Pnnktes in der Axe, von wo aus sie divergiren, angegeben worden sind. Ausserdem ist auch die Grösse des Bildes im Verhältniss zu jener des Objectes von dieser relativen Lage abhängig.

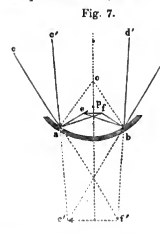
Betrachten wir hier wiederum die verschiedenen möglichen Fälle, so kommen wir durch das früher Mitgetheilte auf folgende Sätze:

a. Liegt das Object *cd* (Fig. 6) ausserhalb des Mittelpunktes *o* nnd zwar so, dass die Axe des Spiegels durch seine Mitte geht, dann wird sein Bild zwischen den Mittelpunkt *o* nnd den Hauptbrennpunkt *p* fallen. Das Bild ist in diesem Falle stets kleiner als das Object, nnd zwar nm so kleiner, je weiter das Object vom Spiegel entfernt ist. Dabei nähert es sich immer mehr dem Hauptbrennpunkte, ohne je damit zusammen zu fallen *).

b. Liegt die Mitte des Objectes in *o* und befinden sich seine beiden Enden in gleichen Abständen vom Spiegel, dann treffen Bild und Object zusammen.

c. Befindet sich das Object in der Axe zwischen *o* nnd *p*, etwa in *ef* (Fig. 6), dann wird ein verkehrtes Bild jenseits des Mittelpunktes *o* entstehen, und die Entfernung dieses Bildes wird um so grösser sein nnd es wird das Object nm so mehr an Grösse übertreffen, je näher dem Hauptbrennpunkte das Object sich befindet.

Fig. 7.



d. Liegt die Mitte des Objectes im Hanptbrennpunkte *p*, dann kann gar kein Bild entstehen, weil die reflectirten Strahlen parallel werden.

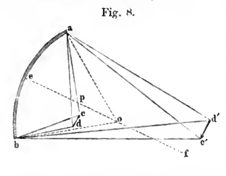
e. Nähert sich das Object *ef* (Fig. 7) dem Spiegel noch weiter, so dass es sich zwischen dem Hauptbrennpunkte *p* und der spiegelnden Oberfläche befindet, dann wird kein wahres Bild vorderhalb des Spiegels entstehen können. Die von *e* kommenden Strahlen *ea* nnd *eb* werden in den Richtungen *ac'* und *bd* reflectirt werden, da die Winkel *c'ao* und *obd* den Winkeln *oae* nnd *obe* gleich sein müssen. Aus den nämlichen Gründen aber werden die vom anderen Ende *f* ausgehenden Strahlen *fa* nnd *fb* in den

*) Für diesen Fall wie für die übrigen lässt sich die Entfernung sowohl als die Grösse des Bildes auf eine einfache Weise berechnen. Ist die Entfernung des Hauptbrennpunktes oder der halbe Radius $= p$, die Entfernung des Objectes vom Spiegel $= a$, der Durchmesser des Objectes $= v$, so ist der Abstand des Bildes vom Spiegel $= \frac{ap}{a-p}$, die Grösse des Bildes aber ist $= \frac{pv}{a-p}$.

Richtungen *ac* und *bd'* reflectirt werden. Mithin divergiren alle Strahlen, welche reflectirt worden sind. Denken wir uns aber ein Auge in der Richtung der reflectirten Strahlen befindlich, so wird dieses ein vergrössertes Bild des Objectes hinter dem Spiegel sehen. Denn verlängern wir die Linien *ac'* und *bd*, nämlich die reflectirten Strahlen *ea* und *eb*, welche vom Pnnkte *e* ausgingen, so treffen sich dieselben in *e'* hinter dem Spiegel, und eben so vereinigen sich die von *f* ausgegangenen und als *ae* und *bd'* reflectirten Strahlen, wenn sie verlängert werden, hinter dem Spiegel in *f'*. In *e'f'* befindet sich demnach scheinbar das vergrösserte Bild von *ef*, nnd aus der gegebenen Construction folgt zugleich, dass es nicht verkehrt ist, sondern gleiche Lage mit dem Objecte haben muss.

17 Es fällt nun nicht schwer, für jede andere Stellung des Objectes, auch ausser der Axe des Spiegels, den Ort zn finden, wo sich das Bild darstellen muss. Ist z. B. *cd* (Fig. 8) ein kleiner Gegenstand, der sich anf der einen Seite der Spiegelaxe *eof* befindet, so werden die Vereinigungspunkte der reflectirten Strahlen in *c'* nnd *d'* zu liegen kommen, und es wird also auf der andern Seite der Spiegelaxe ein verkehrtes Bild entstehen.

Fig. 8.



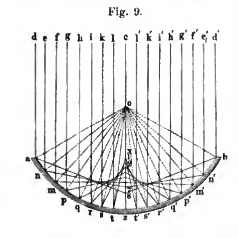
18 Da von allen Punkten eines Gegenstandes Strahlen auf die Oberfläche eines Spiegels fallen, so muss, wenn auch die Grösse des Bildes nicht von der Grösse des Spiegels abhängig ist, sondern nur von dessen Krümmung nnd von der Lage des Objectes, die Helligkeit oder die Lichtstärke des Bildes gar sehr von der Grösse der spiegelnden Fläche bedingt sein, oder von der **Oeffnung des Hohlspiegels**, wie man sich auszudrücken pflegt. Die Grösse dieser Oeffnung wird dnrch den Winkel ausgedrückt, welchen die aus dem Hauptbrennpunkte nach den Rändern des Spiegels gezogenen Linien beschreiben. So würde z. B. in Fig. 3 der Winkel *fph* der Oeffnungswinkel für den Spiegelabschnitt *fbgch* sein. Da nun die reflectirende Oberfläche und folglich auch die Menge des reflectirten Lichtes im qnadratischen Verhältnisse der Durchmesser der Spiegel zunimmt, so wird auch die Helligkeit des Bildes mit der Vergrösserung des Spiegels zunehmen müssen; und so ist es auch. Indessen lehren Erfahrung sowohl als Theorie, dass beim Verfertigen optischer Instrumente, wenn es nicht bloss auf Helligkeit oder Lichtstärke, sondern ausserdem und vorzüglich auf Schärfe des Bildes ankommt, die Vergrösserung der Spiegelöffnung nicht über bestimmte Grenzen hinausgehen darf.

Digitized by Google

Es wurde bisher der Einfachheit halber angenommen, alle Strahlen, 19
welche von einem leuchtenden Punkte ausgehen, vereinigten sich nach der Reflexion auch wieder in einem einzigen Punkte. In der Wirklichkeit geschieht dies aber nicht bei solchen Spiegeln, deren Krümmung dem Abschnitte einer Kugelfläche entspricht. Die Strahlen vereinigen sich dann eigentlich in einer unendlich grossen Anzahl von Punkten, die insgesammt hinter dem wahren Brennpunkte liegen, und je grösser die Spiegelöffnung ist, um so entfernter liegt der Vereinigungspunkt der am Rande auffallenden Strahlen von dem Vereinigungspunkte jener Strahlen, welche nahe der Axe reflectirt werden. Man bezeichnet dies als Abweichung wegen der Kugelgestalt oder kurzweg als **sphärische Aberration**.

Die Wichtigkeit der sphärischen Aberration bei allen katoptrischen und katadioptrischen Instrumenten verlangt eine nähere Betrachtung. Durch eine einfache Construction lässt sich die Sache versinnlichen. Es sei *ab* (Fig. 9) der Durchschnitt eines sphärischen Hohlspiegels, *o* dessen Mittelpunkt, *coz* die Axe und *x* der Hauptbrennpunkt, welcher den Radius *oz* halbirt. Lassen wir auf die Oberfläche des Spiegels ein Bündel paralleler Strahlen von *da* bis *d'b* fallen und machen die Reflexionswinkel den Einfallswinkeln gleich, dann werden sich die äussersten Randstrahlen *da* und *d'b* in 8 vereinigen, die Strahlen *en* und *e'n'* in 7 und so fort, und die zunächst der Axe verlaufenden Strahlen *lt* und *l't'* werden in 1 zusammentreffen, welches sich ganz nahe dem Hauptbrennpunkte *x* befindet. Aus der Figur ist nun zu entnehmen, dass der Abstand der Vereinigungsweiten vom Hauptbrennpunkte um so grösser wird, je näher dem Rande des Spiegels die Strahlen aufgefallen sind. Die Berechnung lehrt auch, dass die Grösse der Abweichung im quadratischen Verhältniss der halben Durchmesser der Spiegel zunimmt *).

Fig. 9.

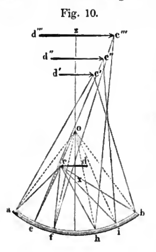


*) Ist der halbe Durchmesser $= x$, der Abstand des Hauptbrennpunktes $= p$, dann ist die Länge der Abweichung (bei einem mässigen Oeffnungswinkel) $= \frac{x^2}{8p}$. — Die alsbald folgende kleine Tafel ist nach der genaueren, auch für grössere Oeffnungswinkel brauchbaren Formel $l = \frac{p}{\cos\varphi} - p = \frac{2p\sin^2\frac{1}{2}\varphi}{\cos\varphi}$ berechnet,

Digitized by Google

20 Natürlicherweise macht sich der nämliche Einfluss auch beim Entstehen der Bilder geltend. Fig. 10 dient zur Erläuterung des Falles, wo ein Object *cd* zwischen dem Mittelpunkte *o* und dem Hauptbrennpunkte *x* befindlich ist. Um Verwirrung zu vermeiden, ist der Strahlenverlauf nur auf einer Seite für die von *c* kommenden Strahlen abgebildet. Man bemerkt aber sogleich, dass statt des Einen Bildes mehrere hintereinanderliegende Bilder, $c'd'$, $c''d''$ und $c'''d'''$ entstehen müssen, deren Entfernung in umgekehrtem Sinne zunimmt, wie bei den Vereinigungspunkten in Fig. 9, während sie zugleich grösser und grösser werden. Da diese Bilder einander theilweise decken und die Strahlen nach ihrer Vereinigung wieder divergiren, so muss auf einem in *z* befindlichen Schirme ein Bild ohne scharfe Umrisse entstehen, das verwirrt und undeutlich ist.

Fig. 10.



21 Ein Beispiel mag darthun, wie sehr diese Undeutlichkeit mit der grösseren Oeffnung des Spiegels zunimmt. Bei einem Spiegel, dessen Flächenkrümmung einen Radius von 40^{mm} hat, wo also der Hauptbrennpunkt 20^{mm} absteht, treffen folgende Werthe auf die Länge der Abweichung:

Spiegel	von	60	Millimeter	Durchmesser	10,2368	Millimeter
"	"	40	"	"	3,0940	"
"	"	30	"	"	1,5742	"
"	"	20	"	"	0,6560	"
"	"	10	"	"	0,1581	"
"	"	5	"	"	0,0392	"
"	"	4	"	"	0,0251	"
"	"	3	"	"	0,0141	"
"	"	2	"	"	0,0063	"
"	"	1	"	"	0,0016	"

Wenn somit in diesem Falle der Durchmesser des Spiegels von 60^{mm} auf 30^{mm}, also auf die Hälfte vermindert wird, so beträgt die Aberrationsgrösse nur noch etwa $^1/_6$ der früheren. Fällt der Durchmesser bis auf

worin l die Länge der Abweichung, p den Brennpunktsabstand, φ den halben Oeffnungswinkel bezeichnet und $\sin \varphi = \frac{x}{2p}$ ist.

$^1/_{12}$, dann hat sich die Aberrationsgrösse schon auf $^1/_{261}$ gemindert, und ist der ursprüngliche Durchmesser nur noch $^1/_{60}$, dann beträgt die Aberrationsgrösse nur noch $^1/_{6398}$ der früheren Aberration. Für solche Strahlen also, welche $^1/_2$ bis 1^{mm} von der Axe auf den Spiegel treffen, ist die Aberration so gering, dass sie ganz übersehen werden darf. In dem angenommenen Falle entspricht ein Spiegelabschnitt von 1^{mm} Durchmesser einer Oeffnung von etwa 1,5°. Bei einem Durchmesser von 3^{mm}, der einer Oeffnung von fast 5,5° entspricht, hat die Aberration auch noch keine sehr bemerkbare Grösse. Wird indessen diese Grenze überschritten, dann nimmt die sphärische Aberration rasch zu, und ein mittelst eines solchen weiteren Spiegels gewonnenes Bild würde ganz verwirrt und unklar werden.

Die concaven sphärischen Spiegel katoptrischer und katadioptrischer Instrumente dürfen deshalb nur eine kleine Oeffnung besitzen, wodurch der Lichtstärke des Bildes Eintrag geschieht. Dies gilt besonders von jenen Spiegelchen, welche zur Verfertigung von Mikroskopen benutzt werden. Bei der kurzen Brennweite und dem kleinen Oeffnungswinkel erlauben dieselben nur einen ganz kleinen Durchmesser, weshalb sie nur für niedrige Vergrösserungen benutzbar sind, weil den Bildern die Lichtstärke fehlt.

Bei Betrachtung von Fig. 9 findet man bald, dass, wenn der Spiegel *ab* anders gekrümmt wäre, als nach der Oberfläche einer Kugel, es möglich sein müsste, dass alle parallele Strahlen nach stattgefundener Reflexion sich im Punkte *x* vereinigten. In der That lehrt die Berechnung, dass der parabolischen Krümmung diese Eigenschaft zukommt. Für Spiegel in Mikroskopen verdient jedoch noch eine andere Krümmungsform den Vorzug, nämlich das Ellipsoid. 22

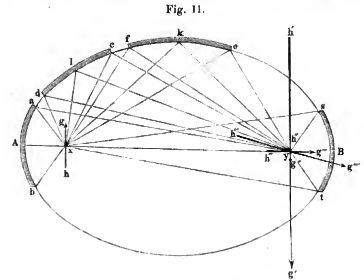
Die katoptrischen Eigenschaften einer ellipsoidischen Oberfläche werden durch Fig. 11 (a.f.S.) erläutert. *AB* ist die grosse Axe einer Ellipse, durch deren Umdrehung ein Ellipsoid entsteht, und *ab*, *cd*, *fe* und *st* sind Durchschnitte von Spiegeln, deren Krümmungen verschiedenen Abschnitten des Ellipsoids entsprechen. Wenn in einem der beiden Brennpunkte *x* oder *y* ein leuchtender Punkt sich befindet, dann werden alle davon ausgehenden Strahlen sich vollständig im anderen Brennpunkte vereinigen. 23

Der Brennpunkt eines elliptischen Spiegels ist folglich der Punkt, wohin man ein Object, von dem ein vergrössertes Bild verlangt wird, am passendsten bringt. Die Strahlen, welche von einem anderen Punkte als vom Brennpunkte kommen, vereinigen sich nicht mehr in einem bestimmten Punkte, vielmehr giebt es so viele Vereinigungspunkte, als der Spiegel Reflexionspunkte hat, wie aus der folgenden Betrachtung hervorgeht.

Befindet sich für den Spiegelabschnitt *ab* ein Gegenstand *gh* im

nächstgelegenen Brennpunkte x, dann werden, nach dem Vorstehenden, die von seiner Mitte x kommenden Strahlen in y sich sammeln. Zieht man nun (was, um Verwirrung zu vermeiden, in der Figur weggelassen

Fig. 11.



ist) bei a und b Berührungslinien, errichtet auf diesen Perpendikel, und macht die Reflexionswinkel den Einfallswinkeln gleich, so ergiebt sich, dass die von a und b reflectirten Randstrahlen in g' und h' sich vereinigen. Dort wird man also ein vergrössertes und verkehrtes Bild des Gegenstandes erhalten, dessen Ebene mit jener des Objectes parallel liegt.

Befindet sich für den nämlichen Spiegelabschnitt ab ein Gegenstand gh in dem entfernteren Brennpunkte y, oder befindet sich, was ja das Nämliche ist, für den Spiegelabschnitt st ein Gegenstand gh in x, dann wird im letzteren Falle in y ein verkleinertes und verkehrtes Bild $g''h''$ entstehen, oder: das Object $g'h'$ wird für den Spiegelabschnitt ab das Bildchen gh geben. Auch hier liegt die Ebene des Bildes parallel mit der Ebene des Objectes. Anders verhält es sich mit jenen Bildern, welche von den übrigen Abschnitten der spiegelnden Oberfläche reflectirt werden. So werden die Randstrahlen für den Spiegelabschnitt fe in g''' und h''' sich vereinigen, so dass das Bild in der Axe des Ellipsoids liegt oder senkrecht auf dem Objecte gh steht. Bild und Object haben in diesem Falle durchaus die nämliche Grösse.

Für den Spiegelabschnitt cd wird das vergrösserte Bild $g''''h''''$ in schiefer Richtung liegen, und ebenso ergiebt sich, dass für jeden anderen Spiegelabschnitt das Bild eine ganz besondere Richtung annehmen und zugleich grösser oder kleiner sein muss, je nach der Proportion, welche

zwischen der Entfernnng von der Mitte des Objectes bis zur Mitte des Spiegelabschnittes und von hier bis zum anderen Brennpunkte besteht. Mit anderen Worten: das Bild $g'h'$ wird eben soviel mal grösser als gh sein, als Ax in Ay enthalten ist; $g''''h''''$ wird um sovicl grösser als gh sein, als ly grösser ist als lx; $g'''h'''$ und gh werden aber gleiche Grösse haben, weil ky und kx einander gleich sind. Die entfernteren nach B zu befindlichen Spiegelabschnitte müssen offenbar Bilder liefern, die immer kleiner und kleiner werden, bis sie bei B das Minimum erreichen und auf der anderen Seite der spiegelnden Fläche von B nach A zu wieder an Grösse zunehmen.

Wir betrachteten bisher nur die Randstrahlen, welche durch die Spiegelabschnitte ab, cd, fe u. s. w. reflectirt werden. Da aber jeder solcher Spiegel einen Abschnitt der ganzen ellipsoidischen Oberfläche darstellt und da, ausser vom Rande, auch von allen anderen Punkten des Spiegels Strahlen reflectirt werden, welche sich zu Bildern vereinigen, so ergiebt sich aus dem Vorstehenden, dass die Bilder nicht vollkommen auf einander treffen, sondern sich alle in der Richtung und Grösse von einander unterscheiden, und dass sie eigentlich nichts als den Mittelpunkt gemeinschaftlich haben.

Bei den elliptischen Spiegeln kommt also noch eine Abweichung vor, die zwar der Art nach von der sphärischen Aberration verschieden ist, in der Wirkung aber insofern damit übereinstimmt, dass die Ränder des Bildes sich niemals ganz scharf formen können. Diese elliptische Aberration, wie wir sie nennen können, hat aber weit weniger zu bedeuten als die sphärische, namentlich für Mikroskope, weil hier die Objecte immer sehr klein sind, ihre Grenzen also dem Brennpunkte immer sehr nahe fallen, wo die Aberration = Null ist. Auch kann man dadurch, dass man einen passenden Abschnitt der ellipsoidischen Oberfläche zum Spiegel nimmt, diese elliptische Aberration noch beschränken, also eine grössere Spiegelöffnung nehmen. Hierauf und auf andere dazu gehörige Punkte werde ich weiterhin, bei den katadioptrischen Mikroskopen, näher zurückkommen.

Die vorstehende Erklärung der Wirkungsweise elliptischer Spiegel ist mit einigen Modificationen der Schrift von Doppler *(Ueber eine wesentliche Verbesserung der katoptrischen Mikroskope.* Prag 1845) entnommen.

Digitized by Google

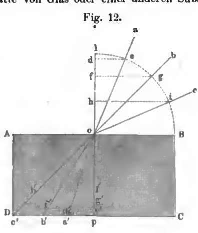
Zweites Kapitel.

Brechung der Lichtstrahlen und Wirkung der Linsen.

24 Nachdem die Gesetze der Lichtreflexion, soweit es der Zweck dieser Schrift verlangt, besprochen worden sind, ist jetzt zu untersuchen, was vorgeht, wenn das Licht ans einem durchsichtigen Medium in ein anderes übergeht, und welchen Einfluss die Form dieser Medien auf die Richtung der Lichtstrahlen ausübt.

25 Bekanntlich ändert sich die Richtung eines Lichtstrahles, wenn er in ein Medium tritt, dessen Dichtigkeit von jener des Medinms, worin er sich bisher bewegte, verschieden ist. Die Gesetze dieser veränderten Richtung oder Brechung der Lichtstrahlen siud sehr einfach und werden durch Fig. 12 erläutert. *ABCD* sei der Durchschnitt einer dicken Platte von Glas oder einer anderen Substanz, welche dichter als die Luft ist. Jeder Strahl, der gleich *lo* senkrecht auf die Oberfläche fällt, wird ungebrochen hindurchgehen und auf der gegenüber befindlichen Fläche bei *p* wieder herauskommen; alle anderen Strahlen dagegen, welche in schiefer Richtung auf jene Oberfläche treffen, werden beim Uebergange aus der Luft ins Glas von ihrer Richtung abweichen und nach dem Einfallslothe *op* hingelenkt werden, wobei sie übrigens in der nämlichen Ebene verharren. Der Strahl *ao* wird also in der Richtung *oa'* seinen Weg fortsetzen, *bo* in der Richtung *ob'*, *co* in der Richtnng *oc'*. Man sieht, dass die Ablenkung der Strahlen von der ursprünglichen Richtung um so stärker ist, je schiefer sie auftreffen, denn der Winkel *coc'* ist merklich kleiner als *bob'* und dieser wiederum kleiner als *aoa'*. Wenngleich nun aber der Grad der Brechung nach der mehr oder minder schiefen Richtung der einfallenden Strahlen ein verschiedener ist, so steht doch die Länge der Linien *de*, *fg*, *hi* in einem entsprechenden Verhältnisse zu den Linien *d'e'*, *f'g'*, *h'i'*, also

Fig. 12.



zu Linien, welche von jenen Punkten aus, in denen die gebrochenen Strahlen den um den Mittelpunkt *o* gezogenen Umfang eines Kreises schneiden, senkrecht auf den Perpendikel gezogen werden. Mit anderen Worten, die Sinus der einzelnen Einfallswinkel *aol*, *bol*, *col*, welche die Strahlen *ao*, *bo* und *co* mit dem Einfallslothe *lo* bilden, stehen in einem bestimmten Verhältnisse zu den einzelnen Brechungswinkeln *a'op*, *b'op* und *c'op*, welche die gebrochenen Strahlen *a'o*, *b'o* und *c'o* mit dem Einfallslothe *op* bilden.

Wenn die Strahlen, wie angenommen, aus der Luft in gewöhnliches Glas übergehen, dann verhalten sich die Linien ungefähr wie 2 : 3 oder wie 1 : 1,5, d. h. die Linien *de*, *fg* und *hi* sind anderthalbmal länger als *d'e'*, *f'g'* und *h'i'*. Dieses Verhältniss zwischen dem Sinus des Einfallswinkels und dem Sinus des Brechungswinkels, welches für eine und dieselbe Substanz unter gleichen Umständen stets das nämliche bleibt, kann als gleichbleibendes Maass für das Brechungsvermögen dieser Substanz benutzt werden. Man bezeichnet dies Verhältniss deshalb als Brechungsexponent, der für das als Beispiel benutzte Glas 1,5 ist, für Wasser 1,336, für atmosphärische Luft 1,000294. Die Brechungsindices für einige Substanzen, welche bei der Verfertigung von Mikroskopen in Betracht kommen, sind: 26

Kronglas von verschiedener Zusammensetzung	1,500 bis 1,534
Flintglas " " "	1,664 bis 2,028 *)
Boraxglas oder borsaures Blei	2,065
Bergkrystall	1,563
Beryll	1,598
Topas	1,610 bis 1,652
Saphir	1,794
Granat	1,815
Diamant	2,439
Canadabalsam	1,532 bis 1,549.

Tritt ein Lichtstrahl aus einem dichteren Medium in ein dünneres, dann ist der Brechungswinkel grösser als der Einfallswinkel, der Strahl wird mithin vom Einfallslothe abgelenkt. So werden in Fig. 12 die Strahlen *c'o*, *b'o* und *a'o* beim Uebergange aus Glas in Luft in den Richtungen *oc*, *ob* und *oa* fortgehen, in Fig. 13 (a. f. S.) aber wird der Strahl *ao*, nachdem er in der Richtung *ob* durch eine Glasplatte mit parallelen Flächen getreten ist, beim Uebergange in die Luft wiederum in der Linie *be* fortgehen, welche mit *ao* parallel ist. Das Nämliche wird geschehen, 27

*) Nach Merz (*Die neueren Verbesserungen am Mikroskope*. 1844) variirt der Brechungsindex des Flintglases von 1,588 bis 1,664.

wenn die Strahlen durch mehrere durchsichtige Körper, welche mit parallelen Flächen an einander grenzen, hindurchgehen, bevor sie wieder

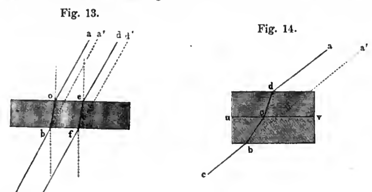


Fig. 13. Fig. 14.

in die Luft gelangen. Fig. 14 sei der Durchschnitt einer Flintglasplatte und einer Kronglasplatte, die einander in *uv* berühren. Der ins Flintglas eintretende Strahl *ad* wird dem Einfallslothe stark zugebrochen werden, beim Uebergange in das schwächer brechende Kronglas bei *o* wird er etwas von dem Einfallslothe abgelenkt, und wenn er auf der gegenüber befindlichen Fläche wiederum in die Luft austritt, dann wird er in der Richtung *bc* fortgehen, parallel mit der ursprünglichen Richtung *ad*.

28 Aus dem Mitgetheilten folgt, dass parallele Strahlen, welche durch ein von parallelen Flächen begrenztes Medium hindurchgegangen sind, parallel bleiben, wenn sie auf der gegenüber liegenden Fläche wiederum in die Luft übergehen. Sind in Fig. 13 die einfallenden Strahlen *ao* und *de* parallel, dann sind es auch die gebrochenen Strahlen *bc* und *fg*. Blickt man daher durch eine Glasplatte nach einem entfernteren Gegenstande, so hat die Veränderung, welche in der Richtung jener Strahlen, die nicht senkrecht auf die Oberfläche treffen, zu Wege gebracht wird, nur die Folge, dass der Gegenstand, von welchem die Strahlen kommen, sich scheinbar an einer anderen Stelle befindet. Ein in *c* und *g* befindliches Auge wird einen Gegenstand, von dem die Strahlen *ao* und *dc* kommen, in der Richtung *ca'* und *gd'* wahrnehmen.

29 Wenn aber die auffallenden Strahlen divergirende sind, dann beschränkt sich der Einfluss eines Mediums mit parallelen Oberflächen nicht auf die einfache Abänderung der scheinbaren Richtung des Objectes. In Fig. 15 sei *AB* wiederum der Durchschnitt einer Glasplatte, und von dem leuchtenden Punkte *a* gehe ein Lichtkegel aus. Die äussersten Strahlen dieses Kegels, *ab* und *ac*, werden beim Ueber-

gange ins Glas am stärksten gebrochen werden, weil sie unter den spitzigsten Winkeln auf die Oberfläche treffen. Nach dem Wiederaustritte

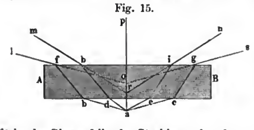


Fig. 15.

aus dem Glase werden sie in der Luft in den Richtungen fl und gs fortgehen, derer Verlängerungen in o zusammentreffen. Die mehr nach innen, näher der Axe ap, auf die Oberfläche des Glases fallenden Strahlen ad und ae gehen auf der anderen Seite in der Richtung hm und in fort, deren Verlängerungen sich in r treffen. Für ein Auge, welches die von a kommenden Strahlen nach dem Durchtritte durch die Glasplatte aufnimmt, werden dieselben nicht nur scheinbar von einem Punkte kommen, welcher näher dem Glase oder selbst in dem Glase liegt, sondern der leuchtende Punkt wird sich als eine Reihe in der Axe über einander befindlicher leuchtender Punkte darstellen.

Denkt man sich nun statt des einzelnen leuchtenden Punktes ein Object, von dem eine Menge Lichtkegel ausgehen, so wird in gleicher Weise eine Reihe sich deckender Bilder des Objectes entstehen, die auf die Deutlichkeit des Sehens einen ähnlichen Einfluss ausüben, wie es von der sphärischen Aberration bei Spiegeln (§. 20) angegeben worden ist und wie es weiterhin von den Linsen wird nachgewiesen werden.

Diesen Einfluss, welchen eine Glasplatte auf den Gang der von sehr nahen Objecten kommenden Strahlen übt, werden wir später als einen Grund kennen lernen, weshalb die Dicke der Glasplatten, womit man die mikroskopischen Objecte bei der Betrachtung zu bedecken pflegt, keineswegs ohne Einfluss auf die Deutlichkeit des Bildes ist.

Treten die Strahlen ao, bo und co (Fig. 16) aus Glas in die Luft, 30

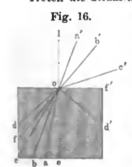


Fig. 16.

so folgt aus dem Bisherigen, dass die gebrochenen Strahlen oa', ob' und oc' sich immer weiter vom Einfallslothe lo entfernen müssen, je grösser der Einfallswinkel wird. Aus der Figur ersieht man aber zugleich deutlich, dass Strahlen, die in Glas oder in einem anderen dichteren Medium verlaufen, nur bis zu einer bestimmten Grenze hin noch in die Luft übergehen können. Vergrösserte sich nämlich der Winkel coe bis foe, dann würde der gebrochene Strahl längs der Oberfläche des Glases nach f' verlaufen und der Brechungswinkel lof' erreichte 90°. Dieser grösstmögliche Winkel (in Fig. 16 foe) heisst der **Grenzwinkel**.

Digitized by Google

Seine Grösse wechselt natürlich je nach dem Brechungsindex; er ist um so kleiner, je grösser dieser ist. Für Kronglas mit dem Brechungsindex 1,533 ist der Grenzwinkel $= 40^0\ 43'$, für Flintglas mit dem Brechungsindex 1,6 ist er $= 38^0\ 41'$.

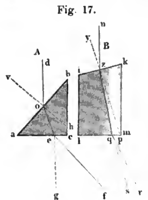
31 Jeder Strahl, der in noch schieferer Richtung auffällt, wie etwa der Strahl *do* in Fig. 16, gelangt gar nicht mehr in die Luft; derselbe erfährt vielmehr an der Grenze zwischen der Glas- und Luftoberfläche eine Reflexion in der Richtung *od'*, und zwar nach dem Reflexionsgesetze spiegelnder Oberflächen, so dass der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel gleich ist. Diesen Fall, wo die Reflexion ganz vollständig eintritt, pflegt man als totale Reflexion zu bezeichnen. Weiterhin wird sich zeigen, dass die Einrichtung mehrerer mikroskopischer Apparate auf diesem Principe beruht.

Bemerkt muss aber werden, dass selbst bei der totalen Reflexion nicht alle Lichtstrahlen ohne Verlust wieder austreten; denn einestheils wird an jeder Oberfläche ein Theil der Strahlen reflectirt, anderentheils wird ein Theil der Lichtstrahlen durch das brechende Medium unregelmässig zerstreut.

32 Betrachten wir jetzt, was nach den so eben kurz entwickelten Gesetzen der Strahlenbrechung geschehen muss, wenn die Grenzflächen der brechenden Medien nicht unter einander parallel sind.

Ist *abc* (Fig. 17 A) der Durchschnitt eines gläsernen Prisma, auf dessen Oberfläche *ab* ein Strahl *do* fällt, so wird dieser nach dem Einfallslothe *oh* hin gebrochen werden, und wenn er an der gegenüberstehenden Fläche bei *e* in die Luft übergeht, so wird er vom Einfallslothe *eg* hinweg gebrochen werden und in der Richtung *ef* fortgehen.

Fig. 17.



Wäre der Einfallswinkel *dov* kleiner, so würde auch die Abweichung geringer ausfallen. So ist es Fig. 17 B, wo der Strahl *nz* einen spitzeren Winkel mit dem Einfallslothe *yz* bildet. Der weniger gebrochene Strahl wird bei *q* in die Luft gelangen und in der Richtung *qr* weiter gehen, das heisst weniger schief, als wenn er in *A* in der Richtung *ef* verläuft.

Kehren wir die hier vorgestellten Durchschnitte in Gedanken um, so müssen sich die gebrochenen Strahlen *ef* und *qr*, statt nach rechts, natürlich eben soweit nach links vom Einfallslothe entfernen. Denken wir uns die beiden Durchschnitte von Fig. 17, gleichwie die beiden umgekehrten Durchschnitte, an einander stossend, und ausserdem noch eine

Glasplatte mit parallelen Oberflächen dazwischen geschoben, so bekommen wir einen Durchschnitt und Brechungen, wie in Fig. 18. Wir er-

Fig. 18.

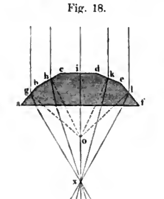
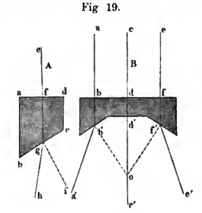


Fig 19.



sehen aber hieraus, dass eine bestimmte Form der Oberfläche möglich ist, bei der alle mitten auf die Flächen *ab*, *bc*, *cd*, *de* und *ef* fallenden Strahlen, nachdem sie durch ein Glas gegangen sind, convergiren und in einem Punkte *x* sich vereinigen.

Ueberlegen wir ferner, welchen Weg der Strahl *ef* (Fig. 19 A) 33
nehmen muss, der parallel mit dem Einfallslothe auf die Fläche *ad* fällt, so ergiebt sich, dass derselbe beim Uebergange in die Luft vom Perpendikel *ig* abgelenkt wird, um in der Richtung *gh* fortzugehen. Dem zu Folge wird in Fig. 19 B, wo die Strahlen *ab*, *cd* nnd *ef* parallel sind, nur der Strahl *cd* unverändert fortgehen, wenn er aus Luft in Glas und ans Glas wieder in Luft tritt; die seitlich einfallenden Strahlen *ab* und *ef* dagegen werden in den Richtungen *b'a'* und *f'e'* fortgehen, also nicht mehr parallel, sondern divergirend.

Auf diesen Principien beruht die Theorie der Linsen. Denkt man 34
sich nämlich Fig. 18 als Durchschnitt eines Stücks von einem regelmässig vielflächigen Körper, so wird darin die Wirkung einer Hauptklasse von Linsen, der positiven oder Sammellinsen, versinnlicht. In Fig. 19 B aber wird die Wirknng der negativen oder Zerstreunungslinsen veranschaulicht.

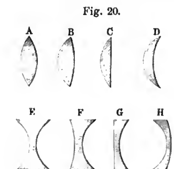
Man unterscheidet übrigens wieder verschiedene Arten bei diesen beiden Hauptklassen von Linsen, und ausserdem können auch beide Hauptformen, die mit convexen und die mit concaven Oberflächen, mit einander verbunden sein.

Sammellinsen sind:

1) die biconvexe, deren beide Flächen eine gleiche Krümmung

(Fig. 20 A) oder eine ungleiche Krümmung (Fig. 20 B) besitzen;

2) die planconvexe (Fig. 20 C);



3) der convergirende Meniskus (Fig. 20 D), eine concavconvexe Linse, deren concave Fläche einen grösseren Radius besitzt, als die gewölbte.

Zerstreuungslinsen sind:

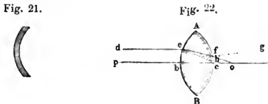
4) die biconcave, deren beide Flächen eine gleiche Krümmung (Fig. 20 E) oder eine ungleiche Krümmung (Fig. 20 F) besitzen;

5) die planconcave (Fig. 20 G);

6) der divergirende Meniskus (Fig. 20 H), dessen gewölbte Oberfläche einen grösseren Radius besitzt, als die concave.

Der einfache Meniskus (Fig. 21), woran beide Flächen die gleiche Krümmung besitzen, gehört nicht zu den Linsen.

35 Die gerade Linie, welche durch die Mitte einer Linse geht und senkrecht auf der die Linsenränder schneidenden Fläche steht, heisst die optische Axe der Linse. Für die biconvexe Linse AB (Fig. 22) ist die Linie pq diese Axe.



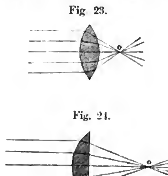
36 Die Linsen für optische Instrumente müssen immer genau centrirt sein, d. h. die Punkte b und c (Fig. 22), in denen die optische Axe die Flächen schneidet, müssen gleichweit von allen Randpunkten entfernt sein. Man erkennt es daran, dass der Rand der Linse überall gleiche Dicke hat. Der Punkt in der Mitte einer genau centrirten Linse heisst der optische Mittelpunkt. Derselbe liegt stets in der Axe der Linse, mehr oder weniger entfernt von beiden Oberflächen, je nach der Form dieser letzteren.

37 Nach der vorstehenden Entwickelung kann man sich die convexe oder concave Oberfläche einer Linse aus einer unendlichen Anzahl ebener Flächen zusammengesetzt denken, auf denen die Radien jener Kugel, welche durch diese Flächen begrenzt wird, eben so viele Einfalls-

lotbe oder Perpendikel bilden, nämlich *og*, *oh*, *oi*, *ok* und *ol* in Fig. 18, oder *ob'*, *od'* und *of'* in Fig. 19 B. Untersuchen wir nun, welchen Weg die Lichtstrahlen durch Linsen von verschiedener Gestalt nehmen müssen, und zwar zuerst und hauptsächlich durch Sammellinsen.

Trifft ein Strahl *de* (Fig. 22), der von einem unendlich fernen leuchtenden Punkte, z. B. von der Sonne, kommt, parallel mit der optischen Axe *pq* auf die Oberfläche einer biconvexen Glaslinse, so wird er nach dem Einfallslothe *ch* zu gebrochen, und er kommt bei *f* aus dem Glase heraus; hier aber biegt er sich wiederum vom Einfallslothe *fg* ab, so dass er die optische Axe in *o* schneidet. Dies geschieht mit allen Strahlen, die, wie in Fig. 23, parallel mit der optischen Axe auf die Oberfläche treffen und sich in dem nämlichen Punkte *o* schneiden. Man nennt diesen Punkt den **Hauptbrennpunkt** der Linse.

Fig. 23.



Offenbar giebt es auch für planconvexe Linsen einen solchen Vereinigungspunkt. Hier sind aber zwei Fälle zu unterscheiden. Ist die gewölbte Oberfläche dem Lichte zugekehrt (Fig. 24), dann fallen die parallelen Strahlen schief auf und beim Uebergange ins Glas nehmen sie schon eine convergirende Richtung an. Treffen dagegen die Strahlen auf die platte Oberfläche (Fig. 25), so gehen sie unverändert durch das Glas hindurch und erst dann, wenn sie auf der gewölbten Seite in die Luft treten, erfolgt ihre Brechung.

Fig. 24.

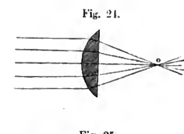
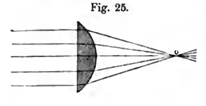
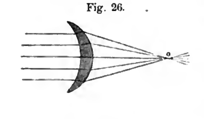


Fig. 25.



Der Weg paralleler Strahlen durch einen convergirenden Meniskus ist in Fig. 26 und in Fig. 27 (a. f. S.) dargestellt.

Fig. 26.

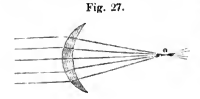


Der Abstand des Hauptbrennpunktes vom optischen Mittelpunkte der Linse hängt erstens von dem Krümmungsgrade beider Oberflächen und zweitens vom Brechungsvermögen des benutzten Mediums ab *). 38

*) Lässt man die Dicke der Linse ausser Rechnung und werden durch R und r

Für gewöhnliches Glas mit dem Brechungsindex 1,5 lehrt die Berechnung, dass bei einer planconvexen Linse (Fig. 24) die Brennweite gleich ist dem Durchmesser einer Kugel, der die Wölbung der Linse als Theil angehört. Eine biconvexe gläserne Linse (Fig. 23) mit ganz gleichen Krümmungsflächen hat den Brennpunkt gerade in der Hälfte dieses Abstandes, nämlich im Centrum einer solchen Kugel, oder die Brennweite ist der Länge des Radius gleich.

Fig. 27.



Für praktische Zwecke ist es in der Regel ausreichend, wenn man den Brennpunkt oder Focus auf solche Weise bestimmt, da die Linsen in der Regel aus Glas gefertigt werden, dessen Brechungsindex wenig mehr als 1,5 beträgt. Werden jedoch Substanzen benutzt, die einen anderen Brechungsindex haben, dann wird auch die Brennweite eine andere.

Würden aus nachgenannten Substanzen biconvexe Linsen mit ganz gleichen Krümmungen verfertigt, deren beide Oberflächen z. B. einem Radius von 10 Millimetern entsprächen, dann würden die Brennweiten, vom optischen Mittelpunkte aus gerechnet, also ohne die Dicke der Linse in Rechnung zu bringen, folgende sein:

	Brechungsindex.	Brennweite.
Gewöhnliches Glas	1,500	10,00 Millim.
Kronglas	1,534	9,38 „
Flintglas	1,600	8,33 „
Saphir	1,794	6,29 „
Granat	1,815	6,19 „
Diamant	2,439	3,48 „

Eine Diamantlinse von gleicher Grösse und Gestalt wie eine Glaslinse hat also eine Brennweite, die nur wenig mehr als $^1/_3$ so gross ist, wie jene der Glaslinse.

Es ist natürlicher Weise sehr mühsam, ja bei kleinen mikroskopischen Linsen sogar unausführbar, aus dem Krümmungsgrade und dem Brechungsvermögen der Linsen ihre Brennweite zu berechnen. Ich werde aber nachher einige praktische Regeln angeben, um dieselbe mit hinreichender Genauigkeit bestimmen zu können.

39 Für unseren Zweck ist es von ganz besonderem Interesse, zu untersuchen, welchen Weg die Strahlen von einem Objecte nehmen, das sich

die Radien beider Oberflächen, durch n der Brechungsindex, durch p die Brennweite bezeichnet, dann ist

$$p = \frac{Rr}{(n-1)\,(R+r)}.$$



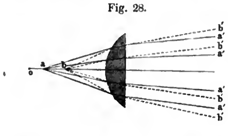
nicht, gleich der Sonne, in unendlicher Entfernung von der Linse befindet, vielmehr ganz nahe ihrer Oberfläche gelegen ist. In diesem Falle gehen von jedem leuchtenden Punkte des Objectes Lichtkegel aus, welche den leuchtenden Punkt des Objectes zur Spitze, die Oberfläche der Linsenöffnung zur Grundfläche haben. Die auf die Linse treffenden Strahlen sind mithin divergirend, und zwar um so stärker, je näher der Linse der leuchtende Punkt befindlich ist.

Dabei sind nun in gleicher Weise, wie es (§. 13) von den Hohlspiegeln angegeben worden ist, verschiedene Fälle möglich.

Erstens kann der leuchtende Punkt o (Fig. 23, Fig. 24, Fig. 25) gerade im Hauptbrennpunkte der Linse sich befinden. In diesem Falle werden die Strahlen, nachdem sie durch die Linse hindurch sind, parallel unter einander und parallel mit der optischen Axe fortgehen.

Zweitens kann der leuchtende Punkt zwischen dem Hauptbrennpunkte und der Linsenoberfläche liegen. Es sei o (Fig. 28) der Hauptbrennpunkt für parallele Strahlen, die auf der entgegengesetzten Linsenfläche auffallen. Liegt nun der leuchtende Punkt in a, so treffen die von ihm ausgehenden Strahlen stark divergirend auf die Linse; innerhalb dieser werden sie dann einander etwas zugebrochen werden, was beim Uebergange in die Luft auf der anderen Seite der Linse noch etwas zunimmt, so dass sie in den Richtungen a' a' a' a' fortgehen; immer indessen bleiben sie divergirend. Der Divergenzgrad der durch die Linse gebrochenen Strahlen ist um so geringer, je näher dem Hauptbrennpunkte o der leuchtende Punkt sich befindet, um so grösser, je näher der Linsenoberfläche er liegt. Befindet er sich z. B. in b, dann gehen die Strahlen nach b' b' b' b' gerichtet fort. — Wir werden weiterhin sehen, dass die Eigenschaft der Linsen, die von einem Objecte kommenden Strahlen weniger divergent zu machen, der ganzen Theorie ihrer Benutzung fürs einfache Mikroskop zu Grunde liegt.

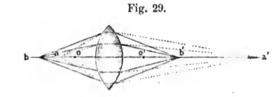
Fig. 28.



Wenn sich dann drittens der leuchtende Punkt in der optischen Axe und entfernter von der Linsenoberfläche befindet als der Hauptbrennpunkt, etwa in a in Fig. 29 (a. f. S.), wo o den Hauptbrennpunkt darstellt, dann werden die gebrochenen Strahlen eine convergirende Richtung bekommen und sich irgendwo in der optischen Axe vereinigen, etwa in a'. — Befindet sich der leuchtende Punkt in b, um die doppelte Brennweite von der Linse entfernt, dann kommt der Vereinigungspunkt der Strahlen auf der anderen Seite der Linse in b' zu liegen, d. h. eben so

weit hinter der Linse, als der leuchtende Punkt vor der Linse gelegen ist. Bei noch weiterer Entfernung des leuchtenden Punktes nähert sich

Fig. 29.



der Vereinigungspunkt der Strahlen mehr und mehr dem Hauptbrennpunkte o'. Kommt dagegen der leuchtende Punkt dem anderen Hauptbrennpunkte o näher, dann rückt der Vereinigungspunkt der Strahlen immer entfernter und die Strahlen verlieren immer mehr an Convergenz, bis sie endlich, von o ausgehend, sich nirgends mehr vereinigen, sondern parallel werden.

40 Strahlen endlich, die gleich $a'\,a'\,a'\,a'$ (Fig. 28) convergirend auf eine gewölbte Linse auffallen, werden dadurch nur noch stärker convergirend und vereinigen sich in einem Punkte a zwischen dem Hauptbrennpunkte o und der Linsenoberfläche. Sind die Strahlen noch stärker convergirend, wie z. B. $b'\,b'\,b'\,b'$, dann liegt ihr Vereinigungspunkt auch noch näher hinter der Linse in b.

41 Was bisher über den Gang der Lichtstrahlen durch convexe Linsen gesagt worden ist, das gilt ganz und gar auch von Strahlen, welche durch Kugeln hindurch gehen. Da letztere aber im Vergleiche mit Linsen von gleicher Krümmung eine ansehnliche Dicke haben, so muss natürlich ihr Hauptbrennpunkt auch der Oberfläche viel näher liegen, wie man bei o in Fig. 30 sieht. Bei Glaslinsen, haben wir gesehen, werden die Strahlen in Folge einer zweiten Brechung beim Uebergange in die Luft noch stärker convergirend, weshalb eben bei einer planconvexen Linse der Brennpunkt im Umfange der Kugel liegt, zu der die Linsenoberfläche sich als Abschnitt verhält. Bei gläsernen Kugeln kommt es aber deshalb nicht dazu, dass der Brennpunkt in den Umfang der Kugel fällt, weil die Strahlen hier lediglich durch das Glas gebrochen werden, bevor sie den Umfang der Kugel erreichen.

Fig. 30.

Um die Wirkung der Linsen und der Kugeln bequemer vergleichen zu können, habe ich in der folgenden Tabelle die Brennweiten der Kugeln aus jenen Substanzen, für welche in der vorigen Tabelle die Brennweiten

Digitized by Google

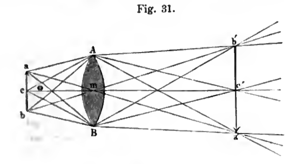
der Linsen angegeben wurden, verzeichnet. Es wird dabei die nämliche Krümmung wie bei den Linsen vorausgesetzt, nämlich ein Radius der Kugeln von 10 Millimetern. Es beträgt dann die Entfernung der Brennpunkte *):

	Vom Mittelpunkte der Kugel.	Von der Oberfläche der Kugel.
Gewöhnliches Glas	15,00	5,00
Kronglas	14,36	4,36
Flintglas	13,33	3,33
Saphir	11,39	1,39
Granat	11,29	1,29
Diamant	8,47	— 1.53

Bei Vergleichung der Linsen und Kugeln ergiebt sich somit deutlich, dass erstere vor den letzteren den Vorzug verdienen, weil die Kugeln bei der nämlichen Krümmung den Brennpunkt der Oberfläche immer weit näher haben. Auch sieht man, dass diese Annäherung bei stark brechenden Substanzen dergestalt zunimmt, dass für eine Diamantkugel der Brennpunkt selbst innerhalb der Kugel liegen würde.

Von Objecten, die vor einer Linse befindlich sind, gehen selbstverständlich fast alle Strahlen von Punkten aus, die sich ausserhalb der optischen Axe befinden. Die Strahlen vereinigen sich dann in einem Punkte auf der entgegengesetzten Seite von der optischen Axe. Ist AB (Fig. 31) eine Linse, deren Brennpunkt in o liegt, dann werden die vom 42

Fig. 31.



Objecte ab aus c kommenden Strahlen, die also von einem Punkte der Axe ausgehen, sich auch wieder in einem Punkte der Axe, nämlich in c' vereinigen, und die von a kommenden Strahlen haben in a', die von b kommenden in b' ihren Vereinigungspunkt. Da nun alle vom Objecte

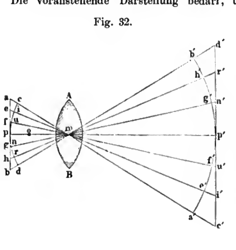
*) Berechnet nach der Formel $p = \frac{(1 - \frac{1}{2}n)\, r}{n - 1}$, wo n den Brechungsindex, r den halben Durchmesser, p den Abstand des Brennpunktes von der Oberfläche bezeichnet.

zwischen a und b ausgehenden Strahlen sich wieder irgendwo zwischen a' und b' treffen müssen, so entsteht dort ein Bild des Gegenstandes und zwar ein verkehrtes. Von den Vereinigungspunkten aus setzen die Strahlen ihren Weg wiederum divergirend fort, wie es in der Figur angedeutet ist.

In dem angenommenen Falle befindet sich das Object noch innerhalb der doppelten Brennweite der Linse, und das Bild wird um so viel vergrössert, als die Linie cm, d. h. der Abstand des Objectes vom optischen Mittelpunkte der Linse in der Linie mc', d. h. in dem Abstande vom Mittelpunkte der Linse zum Mittelpunkte des Bildes enthalten ist *). Bringt man das Object dem Hauptbrennpunkte näher, dann nimmt nicht nur der Abstand des Bildes, sondern auch das Bild selbst an Grösse zu. Durch grössere Entfernung des Objectes rückt die Stelle des Bildes der anderen Oberfläche der Linse näher, und sobald seine Entfernung der doppelten Brennweite gleich kommt, sind Object und Bild gleich weit von der Linse entfernt und auch gleich gross. Bei noch grösserer Entfernung des Objectes wird das Bild kleiner und nähert sich mehr und mehr der Linsenoberfläche. Wäre z. B. in Fig. 31 b' a' das Object, so würde ab dessen Bild sein. Käme endlich das Object in den Hauptbrennpunkt o oder selbst noch näher der Linse, dann würden alle Strahlen parallel oder divergirend werden und es könnte gar kein Bild mehr entstehen.

43 Die voranstehende Darstellung bedarf, um ganz richtig zu sein, noch einer Modification, die namentlich für die Theorie des Mikroskopes wichtig ist. Liegt das Object, von dem die Strahlen ausgehen, in einer geraden Ebene, wie sie (Fig. 32) im Durchschnitte ab dargestellt ist, dann wird sein Bild nicht in einer geraden, sondern in einer nach einem Kegelschnitte gebogenen Ebene liegen, deren Durchschnitt $b'a'$ ist.

Fig. 32.



*) Der Abstand des Bildes ist gleich $\frac{ap}{a-p}$, wo a die Entfernung des Objectes, p aber die Brennweite der Linse bedeutet.

Es folgt dies daraus, dass die ausserhalb der Axe pp' gelegenen Punkte des Objectes, nämlich f, e, a und g, h, b, sich in desto grösserer Entfernung vom optischen Mittelpunkte m befinden, je entfernter sie vom Punkte p sind, wo die Axe die Ebene schneidet: fm ist grösser als pm, em grösser als fm, am grösser als em, und die Entfernungen gm, km und bm auf der anderen Seite nehmen in dem nämlichen Verhältniss an Grösse zu.

Da nun ein Bild der Linse um so näher rückt, je weiter sich der leuchtende Punkt vom optischen Mittelpunkte entfernt, so kann das Bild von ac unmöglich in der geraden Ebene $d'c'$ zu liegen kommen, weil sonst die am entferntesten gelegenen Punkte des Objectes, a und b, den Vereinigungspunkten d' und c' entsprechen würden, wobei md' und mc' grösser sind als mp'. Dies widerspricht aber dem so eben aufgestellten Gesetze, dass das Bild der Linse um so näher ist, je weiter das Object von derselben wegrückt. Den Punkten a und b entsprechen im Bilde die Punkte b' und a', die dem optischen Mittelpunkte näher stehen, als der in der Axe gelegene Vereinigungspunkt p', und das Nämliche gilt in abnehmendem Grade von den übrigen Punkten e, f u. s. w., deren Strahlen in f', e' u. s. w. zusammenkommen. Die Linie, wodurch alle diese Punkte verbunden werden, ist mithin eine krumme, und die Krümmung wird um so stärker, je mehr die einzelnen Punkte von der Axe entfernt liegen.

In gleicher Weise lässt sich darthun, dass das Bild des in der geraden Ebene $d'c'$ befindlichen Objectes der gekrümmten Linie cd entsprechen wird. Zugleich ergiebt sich aber auch daraus, dass, wenn die gekrümmte Linie cd den Durchschnitt der Ebene bedeutet, worin das Object gelegen ist, dessen Bild in der geraden Ebene $d'c'$ liegen muss.

Wird demnach das Bild eines ebenen oder geradlinigen Gegenstandes auf einem ebenen Schirme aufgefangen, dann kann es nur nahe der Axe scharf begrenzt sein, da auf die entfernteren Theile Strahlenkegel fallen, die bereits vereinigt waren und nun wieder divergiren. Nähert man dann das Object der Linse, so kann man zwar hierdurch die Bilder dieser entfernteren Punkte in grösserer Schärfe zur Ansicht bringen, aber nur auf Kosten jener in der Nähe der Axe gelegenen Theile, weil alsdann auf diesen Theil des Schirms nur convergirende, noch nicht vereinigte Strahlen fallen.

Um also ein scharf begrenztes Bild zu erhalten, müsste dasselbe auf einer gekrümmten Fläche aufgefangen werden, die mit der Krümmungsebene, worin die Vereinigungspunkte liegen, ganz correspondirte. Dann würde aber an den verschiedenen Punkten des Bildes nicht die gleiche Vergrösserung vorkommen. Die verhältnissmässige Grösse des Bildes nämlich wird bestimmt durch das Verhältniss zwischen der Entfernung des leuchtenden Punktes vom optischen Mittelpunkte und der

Entfernung dieses optischen Mittelpunktes vom Vereinigungspunkte der Strahlen, und im vorliegenden Falle ist das Verhältniss wie $pm:mp'$, $fm:mf'$, $cm:mc'$, $am:ma'$ u. s. w. Wenn aber die Punkte f', c', a' u. s. w. sich der Linse in dem Maasse nähern, als f, c, a u. s. w. sich davon entfernen, dann muss die Vergrösserung mit dem grösseren Abstande der Punkte von der Axe abnehmen, und das in $b'a'$ aufgefangene Bild wird in p' am meisten, in a' und b' am wenigsten vergrössert sein, so dass das ganze Bild nicht genau allen verschiedenen Theilen des Objectes entspricht, sondern etwas Verschobenes bekommt. Man gewahrt dies am besten mittelst einer Linse mit einem Focus von 1 bis 2 Centimeter, die in der gehörigen Entfernung über ein aus viereckigen Maschenräumen zusammengesetztes Stückchen Gaze gehalten wird: die Carrés nach dem Rande des Feldes hin erscheinen immer kleiner, und die sie begrenzenden Linien sind nach innen zugebogen. Aehnliches gewahrt man auch, wenn man das Luftbild irgend eines andern geradlinigen Objectes, wie etwa die Linien gedruckter Schrift anschaut. Wird dagegen das Bild eines solchen geradlinigen Objectes, wie etwa eines Fensters, auf einem ebenen Schirme aufgefangen, so erscheinen alle Linien des Bildes gerade und die Vergrösserung oder Verkleinerung der einzelnen Theile ist eine gleichmässige. Allein die Randtheile des Bildes und die in der Mitte befindlichen Theile kann man nicht gleichzeitig scharf wahrnehmen, sondern es müssen zu diesem Ende die relativen Abstände zwischen Object, Linse und Schirm eine Aenderung erfahren.

Uebrigens ist es klar, dass in dem Maasse, als das Object vom optischen Mittelpunkte sich entfernt, die Ebene, worin das Luftbild liegt, sich der geraden mehr und mehr nähern wird. Die Wölbung wird also im Allgemeinen abnehmen, je mehr die Brennweite der Linse zunimmt, und umgekehrt wird sie zunehmen, wenn die Brennweite abnimmt. Bei der nämlichen Linse aber wird die Wölbung jener Ebene durch Näherrücken des Objectes zunehmen, und durch dessen Entfernung von der Linse abnehmen.

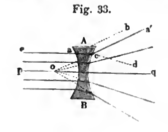
Weiterhin wird sich zeigen, dass im Mikroskope ausser dieser Krümmung gerader Linien und ausser der ungleichmässigen Vergrösserung an verschiedenen Stellen des Gesichtsfeldes noch ein anderes Verhältniss eingreift, nämlich die ungleiche Brechung der mittleren und der Randstrahlen, welche durch die Linsenform der brechenden Medien bedingt wird.

44 Wenden wir uns jetzt zum Verlaufe der Lichtstrahlen in **Zerstreuungslinsen**, so müssen wir wiederum im Auge behalten, in welcher Richtung die Strahlen gingen, bevor sie die Linse erreichen.

Wenn der Strahl ca (Fig. 33), welcher mit der optischen Axe pq parallel geht, die concave Oberfläche der biconcaven Linse AB erreicht, so wird er dem Einfallslothe ab zu gebrochen werden, und wenn er bei

c in die Luft kommt, so wird er sich vom Einfallslothe *cd* entfernen und nach *a'* fortgehen. Alle übrigen mit der Axe parallelen Strahlen nehmen eine ähnliche Richtung an, und es werden also die parallelen Strahlen durch eine Zerstreuungslinse divergirend gemacht. Dabei zeigt sich das Gesetz, dass alle gebrochenen Strahlen solche Richtungen bekommen, vermöge deren ihre Verlängerungen in einem Punkte *o* vorderhalb der Linse zusammentreffen. Diesen Punkt nennt man den Zerstreuungspunkt für parallele Strahlen. Man hat ihn auch, aber weniger passend, den Brennpunkt genannt.

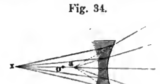
Fig. 33.



Die Stelle dieses Punktes hängt, gleich jener des Brennpunktes einer Sammellinse, vom Krümmungsgrade der Linse und vom Brechungsvermögen ihrer Substanz ab. Hat man es mit Zerstreuungslinsen aus Glas mit fast 1,5 Brechungsindex zu thun ,so kann man annehmen, dass bei einer biconcaven Linse mit gleicher Krümmung beider Seiten die Entfernung des Zerstreuungspunktes der Länge des Radius gleichkommt, und dass bei einer planconcaven Linse diese Entfernung dem doppelten Radins gleichkommt.

Strahlen, von einem in der Axe gelegenen Punkte *x* (Fig. 34) 45
ausgehend, treffen divergirend auf die Linse, und beim Durchgange durch dieselbe werden sie noch stärker divergirend. Ihre Verlängerungen treffen sich dann in einem Punkte *a*, der immer zwischen dem Zerstreuungspunkte *o* und der Linse gelegen ist.

Fig. 34.



Bei convergirenden Strahlen hat man 46
drei Fälle zu unterscheiden: a) Haben sie eine Richtung, wie *a'c* u. s. w. in Fig. 33, so dass ihre Verlängerungen gerade im Zerstreuungspunkte *o* zusammentreffen würden, dann verlassen sie die Linse auf der anderen Seite als parallele Strahlen. b) Sind sie noch stärker convergirend, so dass ihre Verlängerungen, wie in Fig. 34, sich im Punkte *a* zwischen dem Zerstreuungspunkte *o* und der Linsenoberfläche schneiden würden, dann mindert sich in Folge der Brechung ihre Convergenz, sie vereinigen sich aber noch in einem Punkte *x*. c) Haben endlich die Verlängerungen der convergirenden Strahlen, wie in Fig. 35, ihren Vereinigungspunkt jenseits des Zerstreuungspunktes *o* in *a*, dann werden dieselben, in Folge der Brechung, divergirend, und zwar um so stärker, je entfernter *a* von *o* liegt.

Digitized by Google

47 Jede Linse lässt um so mehr Licht durch, je grösser ihre Oberfläche ist, d. h. je mehr ihre Oeffnung zunimmt. Oeffnungswinkel nennt man jenen Winkel, welcher durch zwei Linien eingeschlossen wird, die, von gegenüberliegenden Punkten des Linsenrandes ausgehend, im Brennpunkte der Linse zusammentreffen. So ist in Fig. 36 *aob* der Oeff-

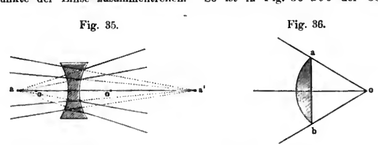


Fig. 35. Fig. 36.

nungswinkel der Linse *ab*. Je kleiner dieser Winkel wird, je mehr also der Durchmesser der Linse abnimmt, desto mehr verlieren die Bilder an Licht und Helligkeit; denn für zwei Linsen, die gleiche Krümmung, aber ungleiche Durchmesser besitzen, ist das Verhältniss der Lichtstärke gleich den Quadraten dieser Durchmesser. Eine Linse von 5^{mm} Durchmesser wird mithin nur $^1/_4$ des Lichtes durchlassen, wie eine andere Linse von 10^{mm} Durchmesser. Daraus ist ersichtlich, wie vortheilhaft es für Linsen in optischen Instrumenten, zumal in Mikroskopen ist, wenn sie eine möglichst grosse Oeffnung haben.

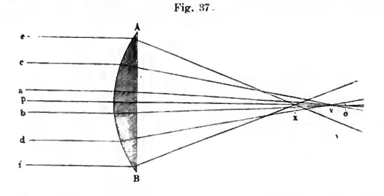
48 Es stellt sich aber hier das gleiche störende Moment ein, wie bei den sphärischen Hohlspiegeln (§. 20), dass nämlich wegen der sphärischen Oberfläche der Linsen nicht die Gesammtheit der Strahlen, welche von einem leuchtenden Punkte ausgehen, auch wieder in einem einzigen Punkte vereinigt werden, dieselben vielmehr in einer unendlich grossen Anzahl hinter einander liegender Vereinigungspunkte zusammentreffen. Die hierdurch bewirkte Abweichung bezeichnet man, wie bei den Spiegeln, als sphärische Aberration.

Es sei *AB* (Fig. 37) eine planconvexe Linse. Die zunächst der Axe auffallenden parallelen Strahlen *a* und *b* werden nach erfolgter Brechung einander beinahe im Brennpunkte *o* schneiden, die entfernter auffallenden Strahlen *c* und *d* werden stärker gebrochen und kommen in *v* zusammen, die zunächst dem Rande auffallenden Strahlen *e* und *f* endlich werden in *x* ihren Vereinigungspunkt haben. Die Entfernung von *x* bis *o* bezeichnet man als die Länge der sphärischen Aberration.

Aus Fig. 38 ersieht man, dass diese sphärische Aberration auf die Schärfe und Bestimmtheit der durch sphärische Linsen erhaltenen Bilder nur einen schädlichen Einfluss üben kann. Es fallen von den Enden des

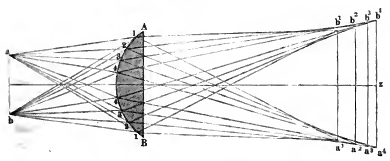
Objectes $a\,b$ auf verschiedene Punkte der Linsenoberfläche 1, 2, 3, 4, 4, 3, 2, 1 Strahlen auf. Da werden jene Strahlen, welche bei 4 durch die Linse ge-

Fig. 37.



hen, in a^4 und b^4 zur Vereinigung kommen, die Strahlen von 3 3 vereinigen sich in a^3 und b^3, jene von 2 2 in a^2 und b^2, und jene endlich, welche zunächst dem Rande bei 1 1 durchgehen, werden ihre Vereinigungspunkte in a^1 und b^1 haben. Nun hat man sich die Anzahl der Strahlen, die von

Fig. 38.



jedem leuchtenden Punkte auf jeglichen zwischenliegenden Theil der Linse fallen, als eine unendlich grosse zu denken, und somit müssen zwischen a^1b^1 und a^4b^4 eine unendlich grosse Anzahl einander zum Theil deckender Bilder liegen, die in Grösse abnehmen in dem Maasse, als die sie bildenden Strahlen näher dem Linsenrande aufgefallen sind. Bringt man daher in z einen Schirm an, so wird man das Bild a^4b^4 darauf erhalten, ausserdem aber auch noch alle Zerstreuungsbilder von a^1b^1, a^2b^2, a^3b^3 und den übrigen zwischenliegenden Punkten, deren Strahlen wieder auseinander weichen. Das Gesammtbild, welches durch die Vereinigung aller dieser Zerstreuungsbilder entsteht, muss ein verwirrtes und undeutliches sein, und zwar um so mehr, je grösser die Anzahl der einzelnen Bilder, d. h. je grösser die Linsenöffnung ist.

Digitized by Google

49 Eine Verkleinerung der Oeffnung wäre auf doppelte Weise zu erreichen: man könnte nur die zunächst dem Rande auffallenden Strahlen sammeln, oder man könnte blos jene Strahlen auffangen, welche in der Nähe der Axe auftreffen. Das Bild würde in beiden Fällen schärfer werden. Natürlicher Weise giebt man dem Abhalten der Randstrahlen den Vorzug, was auch deshalb mehr Vortheile bietet, weil die Aberration in dem Verhältnisse zunimmt, als man sich weiter von der Axe entfernt; denn ganz dicht an der Axe ist sie sehr unbedeutend, ja fast Null. In der Verkleinerung der Linsenöffnung ist also das Mittel gegeben, die Wirkung der sphärischen Aberration auf ein Minimum zurückzuführen, so dass dieselbe auf die Schärfe des Bildes keinen merkbaren Einfluss mehr ausübt. Freilich geht aber diese Verkleinerung mit einem ansehnlichen Verluste an Lichtstärke nothwendig gepaart, wie man an den älteren Mikroskopen sieht, bei deren Verfertigung zur Minderung der sphärischen Aberration nur das eine Mittel bekannt war, dass man die Linsenöffnung sehr klein machte.

50 Könnte man anders geformte Linsen herstellen, als solche mit sphärischen Oberflächen, so wäre man im Stande, die sphärische Aberration vollständig zu beseitigen. Hätte z. B. die Linse AB (Fig. 37) an jenem Theile ihrer Oberfläche, auf welchen die Strahlen c, d, e und f fallen, eine etwas andere Krümmung, so könnte diese ja der Art sein, dass dann die gebrochenen Strahlen gleich jenen aus der Nähe der Axe kommenden sich in o schnitten.

Linsen mit elliptischer oder hyperbolischer Krümmung würden in der That diese Forderung erfüllen, und es fehlt in älterer und in neuerer Zeit nicht an Versuchen, solche Linsen zu gewinnen. Ihre Herstellung stösst aber auf so viele mechanische Schwierigkeiten, dass man wahrscheinlich die Hoffnung aufgeben muss, jemals Linsen zu schleifen, an denen die sphärische Aberration auf diesem Wege ganz beseitigt ist.

51 Es giebt indessen noch andere Mittel, um diesen Einfluss zwar nicht ganz aufzuheben, aber doch soweit zu mindern, dass die Linsen noch eine ziemlich grosse Oeffnung bekommen können, ohne dass die Deutlichkeit des Bildes dadurch auffallend leidet. Theorie und Erfahrung haben gelehrt, dass die Grösse der Aberration, selbst bei gleicher Oeffnung der Linse, nicht immer die nämliche ist, dass vielmehr hierbei folgende Gesetze gelten:

1. Bei Linsen mit verschiedenartig gekrümmten Oberflächen ist es nicht einerlei, welche der beiden Flächen dem Objecte zugekehrt ist. Befindet sich dieses in unendlicher Entfernung, dann ist es vortheilhaft, ihm die stärkere Wölbung zuzukehren; ist dagegen das Object nahe dem Focus, wie es bei Linsen in Mikroskopen der Fall ist, dann muss die

weniger gewölbte Fläche, bei planconvexen Linsen also die platte Oberfläche, dem Objecte zugekehrt sein.

2. Ist es auch nicht möglich, eine biconvexe Linse dergestalt zu schleifen, dass ihr gar keine sphärische Aberration anhängt, so lässt sich doch ein Krümmungsverhältniss beider Oberflächen herstellen, wobei die Aberration möglichst gering ausfällt. Bei einer Linse von Glas mit dem Brechungsindex 1,5 wird dies erreicht, wenn die Krümmung der einen Oberfläche einen sechsmal grösseren Radius hat als die Krümmung der anderen. Eine derartige Linse nennt man Linse der besten Form. Wird die Linse aus einer anderen Substanz mit einem anderen Brechungsindex hergestellt, dann ändert sich dieses Verhältniss; denn es ist bei

Kronglas	mit	1,534	Brechungsindex	=	1 : 8,6
Flintglas	„	1,600	„	=	1 : 14,0
„	„	1,650	„	=	1 : 35,4
„	„	1,686	„	=	1 : ∞ *).

Man ersieht hieraus, dass bei Substanzen mit grösserem Brechungsindex die Krümmung der einen Fläche im Verhältniss zur anderen sich stärker abflachen muss, wenn die daraus gefertigte Linse eine möglichst geringe Aberration haben soll. Bei einem Brechungsindex von 1,686 muss der Radius der einen Fläche unendlich gross sein, oder mit anderen Worten, die Linse der besten Form ist in diesem Falle planconvex.

Wird der Brechungsindex noch grösser, wie bei manchen Sorten Flintglas, beim Saphir, Granat, Diamant u. s. w., dann sollte die eine Fläche selbst concav sein, die Linsenform also durch einen convergirenden Meniskus ersetzt werden.

3. Bei Linsen von gleicher Brennweite und gleicher Oeffnung ist die sphärische Aberration um desto geringer, je stärker das Brechungsvermögen des benutzten Materials ist. Es folgt dies schon daraus, dass bei zwei Linsen von gleicher Brennweite jene, deren Material einen grösseren Brechungsindex besitzt, eine schwächer gekrümmte Oberfläche hat. Beides wird deutlicher aus der folgenden kleinen Tabelle ersichtlich, worin für Linsen mit 10mm Brennweite die Länge der Aberration bei parallel auffallenden Strahlen zusammengestellt worden ist **).

*) Die Berechnung ist nach den Formeln

$$R = \frac{2(n-1)(n+2)}{(2n+1)n} p \text{ und}$$

$$r = \frac{2(n-1)(n+2)}{4+n-2n^2} p$$

gemacht, wo R und r die beiden Radien, n den Brechungsindex und p die Brennweite der Linse bezeichnen.

**) Die allgemeine Formel zur Berechnung der Aberration ist:

$$\frac{npx^2}{2(n-1)^2}\left(\frac{n}{p^2} - \frac{(2n+1)(n-1)}{nrp} + \frac{(n+2)(n-1)^2}{n^2r^2}\right),$$

Durchmesser der Linsenöffnung.	Biconvexe Glaslinse mit gleicher Krümmung beider Flächen.	Linsen der besten Form.			
		Glaslinse.	Flintglaslinse.	Saphirlinse.	Diamantlinse.
	$n = 1{,}5$	$n = 1{,}5$	$n = 1{,}65$	$n = 1{,}794$	$n = 2{,}439$
10mm	4,17mm	2,68mm	1,85mm	1,45mm	0,73mm
8	2,67	1,72	1,18	0,93	0,64
6	1,50	0,96	0,67	0,52	0,26
4	0,67	0,43	0,30	0,23	0,12
2	0,17	0,11	0,07	0,06	0,03

Aus diesen Zahlen ist ersichtlich, wie wichtig es sein würde, wenn statt des Glases eine andere stärker brechende Substanz zur Anfertigung von Linsen benutzt werden könnte. Eine Diamantlinse könnte eine doppelt so grosse Oeffnung haben als eine Glaslinse, also eine viermal grössere Lichtstärke gewähren, ohne dass die Aberration merklich stärker würde.

4. Besteht eine Linse nicht aus Einer Glassorte, ist sie vielmehr eine Verbindung von zwei oder mehr Linsen aus verschiedenen Glassorten von ungleichem Brechungsvermögen, dann lässt sich ein solches Verhältniss zwischen der Form und dem Brechungsvermögen dieser verschiedenen Linsen herstellen, dass eine merkliche Verbesserung der sphärischen Aberration dadurch erreicht wird. Bei Betrachtung der Mittel, wodurch die chromatische Aberration sich beseitigen lässt, wird Näheres hierüber angegeben werden.

5. Ein letztes Mittel, den schädlichen Einfluss der sphärischen Aberration zu mindern, besteht darin, dass man zwei oder drei Linsen mit verhältnissmässig schwachen Krümmungen zu einem Systeme von Linsen verbindet, welches gleich einer einzigen stärker gekrümmten Linse wirkt, wobei die Linsen entsprechend geformt und besonders in genauen Abstand eine von der anderen gebracht werden müssen. Davon wird weiterhin noch die Rede sein, wenn von den Linsensystemen und von deren Benutzung in Mikroskopen im Besonderen gehandelt wird.

---

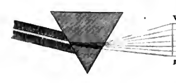
wo n den Brechungsindex bezeichnet, x den halben Durchmesser der Linse, p die Brennweite, r den Radius der Krümmung, welche dem Objecte zugekehrt ist.

Für die Berechnung der möglich kleinsten Aberration bei Linsen von bester Form ist die Formel $\frac{n\,(4n - 1)\,x^2}{8\,(n - 1)^2\,(n + 2)\,p}$ zu Grunde gelegt.

Eine andere Unvollkommenheit der Linsen, welche noch mehr als die sphärische Aberration einen nachtheiligen Einfluss auf die Schärfe der Bilder ausübt, erwächst daraus, dass verschiedenfarbige Lichtstrahlen ungleich gebrochen werden, wodurch ebenfalls eine Abweichung entsteht, die man als chromatische Aberration zu bezeichnen pflegt. 52

Das weisse Licht kann man als eine Zusammensetzung aus einer unendlichen Menge von Strahlen ansehen, deren jeder beim Durchgange durch lichtbrechende Medien in einem verschiedenen Grade von der ursprünglichen Richtung abgelenkt wird. In dem Bilde, welches entsteht, wenn man ein Bündel Sonnenstrahlen durch ein Prisma gehen lässt (Fig. 39), unterscheidet man zunächst sieben Hauptfarben, nämlich Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violet, die man gewöhnlich als Strahlen bezeichnet: die am stärksten brechbaren befinden sich am violetten Ende v, die am wenigsten brechbaren am rothen Ende r. Indessen besteht jeder dieser Strahlen wieder aus einer zahllosen Menge von Strahlen mit gradweise zunehmender Brechbarkeit, und dazu kommen noch die sogenannten unsichtbaren Strahlen, die thermischen und die chemischen.

Fig. 39.



Da die Farbenfelder nirgends bestimmt abgegrenzt sind, so benutzt man nach Frauenhofer's Vorgange einzelne dunklere Streifen in dem sogenannten Sonnenspectrum, die stets die nämliche Stelle einnehmen, als feste Punkte, um die verschiedene Brechbarkeit der Strahlen zu bestimmen. Sieben von diesen Streifen, welche zumeist in das Auge fallen, sind von Frauenhofer durch eben so viele Buchstaben B, C .... H bezeichnet worden. Bestimmt man ihre relative Stellung in dem Sonnenspectrum, welches durch Prismen von verschiedenen Substanzen erhalten wird, so findet man die Brechungsindices jener Strahlen, welche unmittelbar an diese dunklen Streifen grenzen. Die also erhaltenen Strahlen drücken aber das Farbenzerstreuungsvermögen oder Dispersionsvermögen der brechenden Medien aus. 53

Für Kronglas mit dem mittleren Brechungsindex 1,5342 und für Flintglas mit dem mittleren Brechungsindex 1,6490 sind die Brechungswerthe der verschiedenen Strahlen:

Digitized by Google

		Kronglas	Flintglas
Aeusserstes Ende von Roth	B	1,5258	1,6277
Mitte von Roth	C	1,5268	1,6297
Orange	D	1,5296	1,6350
Grenze zwischen Gelb und Grün	E	1,5330	1,6420
Grenze zwischen Grün und Blau	F	1,5361	1,6483
Indigo	G	1,5417	1,6603
Violet	H	1,5466	1,6711

Man ersieht aus diesen Zahlen auf der Stelle, dass Flintglas ein weit stärkeres Dispersionsvermögen besitzt als Kronglas. Zieht man nämlich den Brechungsindex für B von jenem für H ab, so erhält man für das hier gebrauchte Kronglas 0,0208 Differenz, während die Differenz für das Flintglas 0,0434, also mehr denn das Doppelte beträgt.

54 Dividirt man diese Zahlen durch den um 1 verminderten mittleren Brechungsexponenten, so erhält man die Dispersion dieser Substanzen. Dieselbe ist für das benutzte Kronglas $\frac{0,0208}{0,5342} = 0,039$ und für das Flintglas $\frac{0,0434}{0,6490} = 0,067$. Auf diese Weise hat man die Farbendispersion folgender Substanzen bestimmt:

Kronglas von verschiedener Constitution	0,036 bis 0,039
Flintglas " " "	0,050 bis 0,067
Boraxglas (boraxsaures Blei)	0,074
Topas	0,024
Saphir	0,026
Granat	0,027
Beryll	0,037
Diamant	0,038
Canadabalsam	0,045

Vergleicht man diese Zahlen mit den Brechungsexponenten dieser Substanzen (§. 26), dann bemerkt man sogleich, dass das Dispersionsvermögen mit dem Brechungsvermögen keineswegs gleichen Schritt hält.

55 Wir untersuchen jetzt zunächst den Einfluss der Farbendispersion auf jene Bilder, welche durch Linsen aus einem einzigen homogenen Stoffe erzeugt werden. Auf die biconvexe Linse AB (Fig. I der Farbendrucktafel) falle weisses Licht, dessen Strahlen der Axe pq parallel sind, wobei aber nur die Grenzstrahlen des auffallenden Lichtbündels, nämlich ab und cd,

Digitized by Google

abgebildet sind. Der weisse Strahl ab wird in dem Momente, wo er bei b ins Glas tritt, in die zusammensetzenden verschiedenfarbigen Strahlen zerlegt werden: die rothen Strahlen, als die wenigst brechbaren, werden nach aussen liegen und die Axe irgendwo in r schneiden, jenseits des mittleren Brennpunktes o; die violetten Strahlen, als die stärkst brechbaren, werden nach innen zu liegen kommen und die Axe diesseits o in v schneiden. Zwischen den rothen und violetten Strahlen befinden sich dann noch die übrigen farbigen Strahlen, die irgendwo in der Axe zwischen r und v für sich zusammentreffen. Das Nämliche wird auch mit dem Strahle cd geschehen, und — wenn wir für den Augenblick vom Einflusse der sphärischen Aberration absehen — mit allen Strahlen, welche die Oberfläche der Linse zwischen b und d treffen, so dass alle rothen Strahlen ihren Brennpunkt in r, alle violetten Strahlen ihren Brennpunkt in v haben werden, und zwischen r und v noch so viele Brennpunkte sich befinden, als Strahlen von verschiedener Brechbarkeit im weissen Lichte enthalten sind. Die Entfernung zwischen r und v heisst die Länge der chromatischen Aberration. Wegen des verschiedenen Dispersionsvermögens verschiedener Substanzen muss offenbar diese Länge, je nach der Verschiedenheit der brechenden Substanz, woraus die Linse besteht, verschieden ausfallen, bei einer Flintglaslinse z. B. ungefähr doppelt so gross sein, als bei einer Kronglaslinse von gleicher Brennweite.

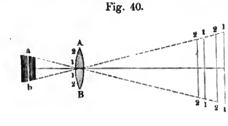
Den Einfluss der chromatischen Aberration auf die durch Linsen entstandenen Bilder erläutert aber Fig. II näher. Die weissen Strahlen von dem Objecte ab, welche durch die Linse gebrochen und zerlegt werden, vereinigen sich nicht in $a'b'$ zu einem weissen oder farblosen Bilde, sondern es bilden die rothen Strahlen das rothe Bild $a'''b'''$, die violetten Strahlen das violette Bild $a''b''$. Zwischen diesen beiden wird aber noch eine ebenso grosse Anzahl verschieden gefärbter Bilder liegen, als Strahlen von verschiedener Brechbarkeit in dem vom Objecte ausgehenden Lichte enthalten sind. Das rothe Bild ist das grösste, da es am meisten von der Linse entfernt ist. Kommt nun ein Schirm in $b'''a'''$ zu stehen, so erhält man darauf nicht einfach ein rothes Bild, denn auch die übrigen hinter einander liegenden Bilder werden sich als Zerstreuungsbilder auf dem Schirme abbilden. Da indessen durch die Vereinigung aller verschiedenen Farben des Sonnenbildes wiederum weisses Licht entsteht, so ist auch der Sammelplatz aller Bilder, d. h. der mittlere Theil des gesammten Bildes, farblos, und nur der Rand ist blau, weil dieser durch das Diffusionsbild der nach erfolgter Kreuzung wiederum divergirenden Strahlen gebildet wird. Befindet sich der Schirm in $b''a''$, dann hat das Bild einen rothen Rand. Hält man ihn an die zwischenliegende Stelle $b'a'$, dann werden zwar die farbigen Ränder verschwinden, aber immer noch wird das aus Zerstreuungsbildern zusammengesetzte Bild verwirrt und undeutlich sein. 56

Digitized by Google

57 Die Verwirrung und Undeutlichkeit nimmt in Folge der sphärischen Aberration noch mehr zu; denn diese hat nothwendig zur Folge, dass die Menge der besonderen farbigen Bilder, aus denen insgesammt Zerstreuungsbilder hervorgehen, noch beträchtlich zunimmt.

Wenn nämlich zur Linse AB (Fig. 40) vom Objecte ab Strahlen gelangen, so werden jene, welche die Linsenoberfläche zunächst der Axe in 1 treffen, sich zu Bildern von den verschiedenen Farben vereinigen, die zwischen 1 und 1 liegen, jene dagegen, welche nahe dem Rande in 2 auftreffen, werden in gleicher Weise zwischen 2 und 2 zu einer Anzahl von Bildern sich vereinigen. Das Nämliche gilt von allen anderen Punkten der Linsenoberfläche, und dem zu Folge wird die Zahl der Bilder zwischen dem Vereinigungspunkte der äussersten violetten Strahlen vom Linsenrande und dem Vereinigungspunkte der äussersten rothen Strahlen, welche nahe der Axe durchgehen, in der That eine unendlich grosse.

Fig. 40.



Wenn daher die chromatische Aberration für sich allein eine regelmässige Aufeinanderfolge von rothen, gelben, grünen Bildern u. s. w. herbeiführen würde, so wird diese Ordnung durch die hinzutretende sphärische Aberration gestört, so dass nun alle Reihen gefärbter Bilder in einander greifen. Nur werden die äussersten Grenzen immer durch ein rothes und durch ein violettes Bild eingenommen.

58 Es wird durch diese Darstellung klar geworden sein, welchen nachtheiligen Einfluss beide Arten von Aberration auf die genaue Beobachtung mit optischen Instrumenten äussern müssen, und wie wichtig es ist, dass dieser Einfluss, wenn auch nicht ganz beseitigt, so doch möglichst verringert werde.

Aus den kleinen Tabellen in §. 26 und §. 54 ersieht man, dass das Brechungsvermögen und das Farbenzerstreuungsvermögen keineswegs gleichen Schritt halten. Saphir, Granat und Beryll z. B. besitzen ein weit stärkeres Brechungsvermögen als Glas, aber ein geringeres Dispersionsvermögen. Der Diamant hat gleiches Dispersionsvermögen wie Kronglas, während die Brennweite einer Diamantlinse nur reichlich $^1/_3$ so gross ist, als bei einer Glaslinse mit gleicher Krümmung. Daraus ergiebt sich wiederum der grosse Vorzug der Edelsteinlinsen vor Glaslinsen.

Indessen stehen auch Mittel zu Gebote, um bei letzteren der Wirkung

der chromatischen Aberration zu begegnen, mit denen wir uns jetzt beschäftigen wollen.

Aus dem Mitgetheilten ist ersichtlich, dass die farbigen Strahlen des 59
weissen Lichts deshalb zur Wahrnehmung gelangen, weil sie beim Durchgange durch brechende Medien in verschiedenem Grade gebrochen werden, also den im weissen Lichte bestehenden Parallelismus verlieren und divergirend werden. Gelingt es daher, den Parallelismus wieder herzustellen, dann vereinigen sich die farbigen Strahlen auch wieder zu weissem Lichte. Den einfachsten Fall, wie dies geschehen kann, bietet die Verbindung zweier Prismen aus Kronglas und aus Flintglas (Fig. 41). Wenn ein Strahlenbündel *uv* blos durch das Kronglasprisma *A* ginge, so würde bei *st* eben so ein gefärbtes Bild entstehen, wie in Fig. 39. Nun ist aber ein zweites Prisma *B* angesetzt, und zwar aus Flintglas, dessen Dispersionsvermögen jenes des Kronglases übertrifft; deshalb werden die beiden Strahlen *c* und *d* beim Uebertritte aus dem einen Prisma ins andere etwas gebrochen werden, der violette Strahl jedoch stärker als der rothe, und es nimmt deren Divergenz ab. Besteht daher zwischen den Brechungswinkeln der beiden Prismen ein richtiges Verhältniss, welches dem verschiedenen Dispersionsvermögen der beiden Glassorten entspricht, dann werden die rothen und violetten Strahlen beim Uebergange in die Luft bei *e* und *f* einander parallel sein, und zugleich werden sie wegen stärkeren Brechungsvermögens des Flintglases eine andere Richtung annehmen als das ursprüngliche Strahlenbündel *uv*.

Fig. 41.

Um deutlich zu machen, was geschehen muss, damit das Nämliche bei 60
Linsen erreicht wird, dürfte es zweckmässig sein, vorher zu untersuchen, wie Zerstreuungslinsen auf verschiedenfarbige Strahlen einwirken.

Wenn auf die planconcave Linse *AB* (Fig. III der Farbendrucktafel) die parallelen weissen Strahlen *ab* und *cd* fallen, dann werden die violetten Strahlen, als die brechbarsten, nach *l* und *l'* gehen, die weniger brechbaren rothen Strahlen aber nach *m* und *m'*. Der Zerstreuungspunkt der rothen Strahlen wird in *r* liegen, jener der violetten in *v*, diesseits des mittleren Zerstreuungspunktes *o*. Man ersieht sogleich, dass hier die relative Lagerung der Strahlen von verschiedener Brechbarkeit gerade umgekehrt ist wie bei Sammellinsen (Fig. I), wo der rothe Strahl nach oben und aussen liegt.

Das Nämliche findet auch statt, sobald convergirende weisse Strahlen

Digitized by Google

auf eine Zerstreuungslinse fallen. Wenn ab und cd (Fig. IV) convergirende Strahlen sind, die sich in f vereinigt haben würden, falls nicht die Linse AB eingeschoben wäre, so werden sie, aus der Luft kommend, durch die Zerstreuungslinse nach o gebrochen werden, dergestalt indessen, dass die stärkst brechbaren violetten Strahlen in v, die wenigst brechbaren rothen Strahlen in r sich vereinigen. Wenn also in v und r Bilder entständen, dann würde das violette das von der Linse entferntere, das rothe das der Linse nähere Bild sein, also gerade umgekehrt wie bei Sammellinsen (Fig. I und II).

Diese die Farbenfolge umkehrende Wirkung der Zerstreuungslinsen tritt aber natürlich nur dann hervor, wenn das Medium, aus welchem die Strahlen kommen, ein schwächeres Brechungs- und Dispersionsvermögen für die verschiedenen Lichtstrahlen besitzt, als jenes, woraus die Zerstreuungslinse besteht. Wenn auf die biconvexe Kronglaslinse AB (Fig. V) die Lichtstrahlen ab und cd fallen, so werden die rothen nnd violetten Strahlen, nachdem sie durch das Glas gegangen und dann beim Uebergange in die Luft gebrochen worden sind, ihren Vereinigungspunkt in r und in v haben. Es ist aber eine planconcave Linse CD angefügt, mit der gleichen Krümmung, als die ihr zugewendete Oberfläche der convexen Linse, und deshalb werden die Strahlen, falls diese Linse ebenfalls aus Kronglas besteht, ihren Weg unverändert durch das Glas fortsetzen: die beiden vereinigten Linsen wirken ganz so, wie eine planconvexe Linse aus einem homogenen Medium. Nur die Vereinigungspunkte der Strahlen werden verrückt werden und jetzt in r' und in v' liegen.

Anders gestaltet sich die Sache, wenn die Zerstreuungslinse ein stärkeres Dispersionsvermögen besitzt als die Sammellinse. Die Zerstreuungslinse wirkt dann in der nämlichen Weise, wie bei Strahlen, die aus der Luft kommen, nur in schwächerem Grade, weil das Dispersionsvermögen bei verschiedenen Glassorten weniger differirt als zwischen Luft und Glas. Ist mithin die Zertreuungslinse aus Flintglas verfertigt, dessen Dispersionsvermögen doppelt so gross ist als jenes der biconvexen Kronglaslinse, dann werden die durch die Linse AB (Fig. VI) gebrochenen Strahlen nicht mehr den Weg verfolgen wie in Fig. V, vielmehr von demselben etwas abweichen, sobald sie in die stärker brechende Flintglaslinse CD gekommen sind. Dies wird aber nicht bei allen Strahlen in gleicher Weise stattfinden, sondern am stärksten bei den violetten, am wenigsten bei den rothen. Ist der Einfluss der concaven Flintglaslinse gross genug, dann geben die verschieden gefärbten Strahlen die divergirende Richtung auf, die sie in Fig. V besassen, und werden convergirend, ja es kann sogar geschehen, dass der Einfluss der Flintglaslinse jenen der Kronglaslinse so weit übertrifft, dass die beiden Linsen zusammen zwar eine Sammellinse darstellen, der violette Strahl aber den rothen schneidet, und ihre Brennpunkte in v und r zu liegen kommen. Man

hat dann eine Sammellinse, durch welche der Gang der farbigen Strahlen gerade umgekehrt ist, wie bei einer Sammellinse, die nur aus Einer Glassorte besteht.

Offenbar wird nun zwischen den beiden in Fig. V und VI dargestellten Extremen noch ein mittlerer Zustand möglich sein, wie er in Fig. VII dargestellt ist, wo nämlich die Kronglas- und Flintglaslinse, was Form und Dispersionsvermögen betrifft, in einem so genauen Verhältniss zu einander stehen, dass der Punkt, wo die farbigen Strahlen einander treffen, genau der mittlere Brennpunkt f der Linse ist, und das dort entstehende Bild farblos erscheint oder nur seine natürlichen Farben zeigt.

Eine solche Vereinigung von Linsen nennt man eine achromatische Doppellinse. Zwischen beiden Linsen befindet sich gewöhnlich Canadabalsam, dessen Brechungsvermögen jenem des Kronglases ziemlich nahe kommt und dessen Dispersionsvermögen in der Mitte zwischen beiden Glassorten steht. Dadurch wird eine Reflexion an den Oberflächen beider Linsen vermieden, wodurch ein Lichtverlust entstehen würde.

Früher hat man auch achromatische Linsen aus drei verschiedenen Linsen zusammengesetzt; doch kommen dergleichen jetzt selten mehr in Betracht.

Im vollsten Sinne des Worts indessen kann eine solche Doppellinse 61
niemals achromatisch sein, weil das Verhältniss der Dispersion im Kron- und Flintglase niemals bei allen gefärbten Strahlen vollkommen das nämliche ist. Man kann dies schon an den Sonnenspectra wahrnehmen, welche durch Prismen aus einer der beiden Glassorten erhalten werden. Es zeigt sich nämlich, dass die brechbarsten Strahlen, blau, indigo, violet, in jenem Spectrum, welches durch ein Flintglasprisma erhalten wird, nicht blos absolut, sondern auch relativ einen grössern Raum einnehmen, als in dem durch ein Kronglasprisma erhaltenen Spectrum. Wir sahen vorhin (§. 53), dass die Totaldispersion einer bestimmten Sorte Kronglas = 0,0208, jene einer Sorte Flintglas = 0,0434 ist. Diese beiden Zahlen verhalten sich wie 1 : 2,09 zu einander. Blieb dieses Verhältniss bei allen einzelnen Strahlen das nämliche, dann müsste man immer die nämliche Zahl erhalten, wenn die partiellen Dispersionen jedes bestimmten Abschnittes des Sonnenspectrums für Flintglas und Kronglas mit einander dividirt werden. Den Werth dieser partiellen Dispersionen erhält man, wenn man alle besonders bestimmten Brechungsexponenten der farbigen Strahlen der Reihe nach von einander subtrahirt, gleichwie das Totaldispersionsvermögen dadurch bestimmt wird, dass man den Brechungsindex der rothen Strahlen in B von jenem der violetten Strahlen in H abzieht. Führt man diese Berechnung für die beiden genannten Glassorten aus, so erhält man folgende Differenzzahlen:

Digitized by Google

	Kronglas		Flintglas	
$B - C$	0,0010	.	0,0020	= 1 : 2,00
$C - D$	0,0028	.	0,0053	= 1 : 1,89
$D - E$	0,0032	.	0,0070	= 1 : 2,19
$E - F$	0,0031	.	0,0063	= 1 : 2,03
$F - G$	0,0056	.	0,0120	= 1 : 2,15
$G - H$	0,0049	.	0,0108	= 1 : 2,21

Keine dieser Zahlen stellt das allgemeine Verhältniss der Totaldispersion, nämlich 1 : 2,09 dar, sondern im Flintglasspectrum ist Roth und Orange (*B* bis *D*) verhältnissmässig kleiner, Gelb (*D* bis *E*) ist grösser, Grün (*E* bis *F*) wieder kleiner, Blau, Indigo, Violet dagegen (*F* bis *H*) sind grösser als im Sonnenspectrum des Kronglases.

Da nun das Verhalten der Partialdispersionen in keinem Falle jenem der totalen oder der mittleren Dispersion zweier Glassorten gleich ist, so folgt hieraus, dass, wenn auch durch die Verbindung einer Kronglaslinse mit einer Flintglaslinse eine vollkommene Vereinigung der rothen und der violetten Strahlen erreicht werden kann, diese Vereinigung für die übrigen farbigen Strahlen noch nicht hergestellt ist. Diese bilden, wenn sich die Strahlen von extremer Brechbarkeit vereinigt haben, immer noch ein rückständiges oder sogenanntes secundäres Farbenbild.

62 Vollkommener Achromatismus der Linsen ist demnach nicht zu erreichen; bei ihrer Anfertigung ist nur dahin zu streben, dem Achromatismus möglichst nahe zu kommen, einmal durch Erwählen von Glassorten, bei denen die Partialdispersionen möglichst wenig unter einander differiren, und zweitens dadurch, dass den Linsen eine Form gegeben wird, die sich nach den mathematischen Berechnungen als die beste bewährt hat, um jenem Ziele nahe zu kommen. Durch diese Berechnungen, auf welche hier nicht weiter eingegangen werden kann, hat die Verfertigung achromatischer Objectivgläser für Teleskope einen hohen Grad von Sicherheit erlangt. Bei den Objectivgläsern für Mikroskope ist dies, wegen der Kleinheit derselben, nicht der Fall. Das Meiste kommt hier noch auf die praktische Uebung des Mechanikus nnd auf dessen Geduld an, wenn er aus einem grossen Vorrathe von Kronglas- und Flintglaslinsen jene aussucht, welche beim Probiren am besten zu einander passen. Das ist einer der Hauptgründe, weshalb ein Mechanikus, der bereits eine Anzahl Mikroskope verfertigte, viel vor jenem voraus hat, der nur erst wenige verfertigte und dessen Linsenvorrath daher in der Regel nicht so gross sein wird als bei dem ersteren.

Es folgt aus dem Mitgetheilten soviel, dass, wenn eine achromatische Doppellinse möglichst gut verfertigt ist und die Grenzstrahlen des Sonnenspectrums, die rothen und violetten, sich vereinigen, dennoch an den Rän-

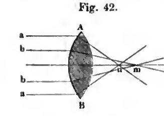
Digitized by Google

dern der Bilder jederzeit noch Spuren der unvereinigten mittleren farbigen Strahlen wahrgenommen werden. Die Ränder werden in diesem Falle einigermaassen grünlichgelb erscheinen. Diese Farbe ist dem Auge unangenehmer als das Hellblaue, und das ist einer der Gründe, warum man beim Anfertigen mikroskopischer Objectivlinsen der Flintglaslinse ein kleines Uebergewicht zu geben pflegt, damit nämlich der Rand des Bildes einen zarten blauen Saum bekommt. Man nennt dies eine überverbesserte Doppellinse. Ist noch ein zarter rother Saum vorhanden, dann heisst sie eine unterverbesserte.

Die Verbindung von Flintglas und Kronglas dient aber nicht blos dazu, die chromatische Aberration zu verbessern, durch sie wird auch zugleich, wie früher (§. 51) angedeutet wurde, die sphärische Aberration gemindert. Das wird deutlich werden, wenn wir auch hier wieder Zerstreuungslinsen und Sammellinsen mit einander vergleichen.

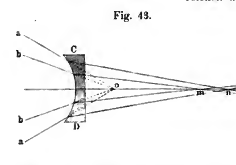
Die biconvexe Linse AB (Fig. 42) vereinigt die Randstrahlen aa in n, die näher der Axe auffallenden Strahlen bb in m. Der Punkt n ist der Linse näher als der Punkt m.

Fig. 42.



Fallen auf eine Zerstreuungslinse CD (Fig. 43) die convergirenden Strahlen aa und bb, die keiner sphärischen Aberration unterliegen sollen und sich insgesammt genau in o erreichen würden, dann werden die stärker gebrochenen Randstrahlen aa in n, die weniger gebrochenen Strahlen bb in m zusammentreffen. Die Vereinigungspunkte m und n haben also gerade die umgekehrte Lage wie in Fig. 42.

Fig. 43.



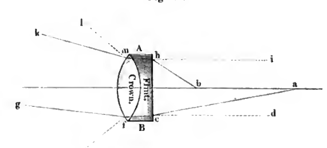
Denkt man sich nun eine Zerstreuungslinse vor einer Sammellinse, so wird, falls beide aus der nämlichen Glassorte bestehen, die Richtung der Strahlen natürlich keine Veränderung erleiden, ausgenommen, dass ihr Vereinigungspunkt weiter von der Linsenoberfläche rückt; die relative Richtung der Randstrahlen und der Axenstrahlen bleibt ganz die nämliche. Ist aber die Sammellinse aus Kronglas, die Zerstreuungslinse aus Flintglas, dann werden die Strahlen beim Uebergange in die dichtere Flintglaslinse eine Brechung erleiden, und da es eine Zerstreuungslinse ist, so wird zu gleicher Zeit ein Streben hervor-

treten, die relative Richtung der Randstrahlen und der Axenstrahlen umzukehren. Man begreift leicht die Möglichkeit, dass bei einer bestimmten Form beider Linsen die einander gegenüberstehenden Tendenzen derselben sich das Gegengewicht halten, so dass durch die vereinigte Wirkung beider der Brennpunkt der Randstrahlen mit jenem der Axenstrahlen zusammenfällt. Ist in einer solchen Doppellinse zugleich die chromatische Aberration so viel möglich verbessert, dann nennt man sie eine **aplanatische**.

Eine vollkommene Beseitigung der sphärischen Aberration indessen ist durch dieses Mittel eben so wenig zu erreichen, als die vollständige Aufhebung der chromatischen Aberration, weil die Zerstrenungslinse auf die Randstrahlen immer einen grösseren Einfluss ausübt, als auf die näher der Axe durchgehenden Strahlen.

63 Auf noch einen Punkt dabei hat Lister (*Phil. Trans.* 1830 p. 187) aufmerksam gemacht. Eine Doppellinse, die beim Durchgange paralleler Strahlen vollkommen frei ist von beiden Aberrationen, wird es nicht mehr sein, sobald die Strahlen eine andere relative Richtung annehmen. Eine Doppellinse ferner, die vollkommen aplanatisch ist, wenn von einem bestimmten Punkte ausgehende divergirende Strahlen auf sie fallen, wird weniger aplanatisch sich verhalten, wenn der leuchtende Punkt sich in einem anderen Abstande von der Linse befindet. Ist z. B. *AB* (Fig. 44) eine Doppellinse, durch welche die vom Punkte

Fig. 44.



a ausgehenden Strahlen ohne sphärische Aberration hindurchgehen, so wird für diesen bestimmten Punkt der Einfallswinkel *acd*, welchen der Strahl *ac* mit dem Einfallslothe *cd* bildet, in einem bestimmten Verhältnisse stehen zu dem Austrittswinkel *efg*, welchen der Strahl nach dem Durchgange durch die Linse mit dem Einfallslothe *ef* bildet. Dieses Verhältniss des Einfallswinkels zum Austrittswinkel ändert sich aber, sobald der Punkt *a* der Linse näher rückt: der Einfallswinkel wird grösser, der Austrittswinkel kleiner, und damit erleidet auch der gegenseitige

Einfluss, welchen die Linsen in Betreff der sphärischen Aberration auf einander ausüben, eine Veränderung. Der Einfluss der concaven Flintglaslinse wird überwiegend, und es entsteht somit eine überverbesserte Aberration.

Rückt der leuchtende Punkt der Linse immer näher, bis er in *b* ankommt, dann ist der Austrittswinkel *kml* (um Verwirrung zu vermeiden, ist er auf der anderen Seite gezeichnet) gerade um so viel kleiner als der Einfallswinkel *bhi*, als bei der früheren Lage in *a* der Einfallswinkel dem Austrittswinkel an Grösse nachstand. In diesem Falle wiegt der Einfluss der einen Linse jenen der anderen wiederum auf, und für den Punkt *b* wirkt die Doppellinse gleich aplanatisch wie für den Punkt *a*.

Bei stärkerer Annäherung an die Linse wird das Verhältniss zwischen den beiden Winkeln wieder abgeändert, die Aberration bleibt aber nun eine unterverbesserte. Das Nämliche gilt auch für den Fall, wo der leuchtende Punkt jenseits *a* zu liegen kommt.

Für jede aplanatische Doppellinse giebt es also nur zwei Punkte, wo die Beseitigung der Aberration eine möglichst vollkommene ist. Lister hat diese beiden Punkte als aplanatische Brennpunkte bezeichnet. Weiterhin werden wir sehen, welche Anwendung hiervon bei der Verfertigung von Mikroskopen zu machen ist. Zugleich wird sich alsdann auch herausstellen, dass, wenn man zwei oder mehr aplanatische Linsen zu einem Linsensysteme verbindet, eine noch vollkommenere Beseitigung der Aberration erreicht werden kann, als je durch eine einzige Doppellinse möglich ist.

Digitized by Google

Zweiter Abschnitt.

Optische Kraft des menschlichen Auges und ihre Grenzen.

---

64 Sobald das Auge über das Mikroskop zu stehen kommt und hindurch sieht, machen beide zusammen nur einen einzigen optischen Apparat aus. Eine Theorie des Mikroskopes und des mikroskopischen Sehens ist deshalb nicht möglich ohne gründliche Kenntniss der Organisation des Auges und der Art und Weise, wie die Gesichtsbilder auf der Netzhaut entstehen. Da aber das Sehen mit blossem Auge in allen physiologischen Handbüchern abgehandelt wird, und die Bekanntschaft damit beim Leser vorausgesetzt werden darf, so übergehe ich es hier mit Stillschweigen.

Einer ausdrücklichen Untersuchung bedarf indessen die Frage, welche Grenzen dem Sehen mit blossem Auge unter verschiedenen Umständen gesteckt sind. Die Beantwortung dieser Frage ist schon darum wichtig, weil sie mit der späterhin besonders zu erörternden Frage nach den Grenzen des optischen Vermögens des Mikroskopes in directer Beziehung steht; sie ist aber auch noch aus dem Grunde von Bedeutung, weil mancherlei Umstände, welche auf die Wahrnehmung der Objecte durch das blosse Auge einen günstigen oder ungünstigen Einfluss üben, auf die Wahrnehmbarkeit der mikroskopischen Objecte einen ganz ähnlichen Einfluss äussern.

65 Bekanntlich besitzt das Auge die Fähigkeit, sich der Entfernung anzupassen, in welcher die Objecte sich befinden. Dieses Accommodationsvermögen hat aber seine Grenzen, und diese sind nicht die nämlichen für

verschiedene Augen. Manche Individuen können ihre Augen nur für solche Strahlen accommodiren, die mit einem verschiedenen Grade von Divergenz auffallen, andere können abwechselnd parallele und divergirende Strahlen in ihr Auge aufnehmen und zu einem scharfen Netzhautbilde vereinigen; noch andere besitzen dieses Vermögen zwar für parallele Strahlen, aber nicht mehr für solche, die mit stärkerer Divergenz von näher liegenden Gegenständen ausgehen, weil sie Presbyopen sind. Endlich kommt sogar der Fall vor, dass das Auge für convergirende Strahlen sich zu accommodiren im Stande ist, also hyperpresbyopisch wird.

Man redet häufig von einer Entfernung des Auges vom Objecte, bei welcher das Sehen am deutlichsten ist. Diese Entfernung hat man die Sehweite oder selbst die Brennweite des Auges genannt, und wir werden weiterhin sehen, dass sich auch die Berechnung des Vergrösserungsvermögens der Mikroskope daranf stützt. In der Wirklichkeit findet sich aber solch ein bestimmter Augenabstand nicht vor, so wenig wie in der Camera obscura eine bestimmte Distanz zwischen dem Objecte und der Linse vorkommt. Es ist daher immer ein vergebliches Bemühen, wenn man diese sogenannte normale Sehweite oder den normalen Deutlichkeitsabstand bestimmen will; für ein Auge, welches durch das Accommodationsvermögen befähigt ist, genaue Netzhautbilder von Gegenständen zu erhalten, mögen diese 10 Meter oder mögen sie nur $^1/_{10}$ Meter entfernt sein, ist die Sehweite von 10 Metern eben so normal wie jene von $^1/_{10}$ Meter. Die normale Sehweite bewegt sich also immer zwischen bestimmten Grenzen, und diese sind ganz identisch mit jenen des Accommodationsvermögens.

Um die normale Sehweite zu ermitteln, hat man sich vornehmlich solcher Verfahrungsweisen und Apparate (der Optometer nämlich) bedient, die sich alle auf den Scheiner'schen Versuch stützen, wonach ein nicht in der gehörigen Entfernung befindlicher Gegenstand, z. B. eine Nadel, doppelt gesehen wird, wenn man durch zwei kleine Oeffnungen darauf hinblickt, deren Entfernung von einander kleiner ist als der Durchmesser der Pupille. Man hat ein doppeltes Bild des Gegenstandes, wenn das Auge soweit davon entfernt ist, dass auf der Netzhaut ein Diffusionsbild entsteht, und einfach erscheint der Gegenstand, wenn er gerade weit genug entfernt ist, dass die Vereinigungspunkte der Strahlen auf die Netzhaut fallen. 66

Aus den gleichen Gründen wird ein weisser Faden, der über eine schwarze Leiste gespannt ist und durch jene zwei kleinen Oeffnungen angeschaut wird, doppelt erscheinen, und die beiden scheinbaren Fäden kreuzen einander an einem bestimmten Punkte, der dann die Entfernung der normalen Sehweite bezeichnen soll. Auf diese Weise*) habe ich bei

*) Diesem Optometer habe ich vor dem mehr zusammengesetzten Stampfer'schen den Vorzug gegeben, weil bei Benutzung des letzteren das Auge weit

fünf Personen, die alle mit mikroskopischen Untersuchungen vertraut, also ans Genausehen gewöhnt waren, folgende Bestimmungen aufgenommen, und zwar an jenem Auge, dessen sie sich vorzugsweise zur mikroskopischen Beobachtung bedienen. *A* und *Ab* bezeichnen dieselbe Person, *Ab* ist aber mit der Zerstreuungsbrille bewaffnet, die er als Myope gewöhnlich zu tragen pflegt. Die Zahlen sind in der Tabelle in der nämlichen Folge eingetragen, in welcher die Messungen stattfanden, und sie bezeichnen Theile des Meters:

A	*Ab*	*B*
Max. 0,175	0,414	Max. 0,433
0,165	Max. 0,446	Min. 0,310
0,164	0,388	0,341
0,166	Min. 0,364	0,331
0,162	0,385	0,394
0,161	0,368	0,351
Min. 0,145	0,432	0,401
0,157	0,397	0,372
0,162	0,414	0,355
0,160	0,396	0,430
Mittel 0,1617	0,4004	0,3718

C	*D*	*E*
0,302	0,275	0,192
0,322	Max. 0,322	0,191
0,306	0,300	Min. 0,146
Min. 0,224	0,305	0,245
0,306	0,272	Max. 0,328
0,280	0,265	0,285
0,332	0,270	0,280
0,323	0,250	0,295
0,303	0,235	0,295
Max. 0,341	Min. 0,232	0,297
Mittel 0,3039	0,2726	0,2554

mehr angegriffen wird und auch der Punkt schwerer wahrzunehmen ist, wo die beiden Bilder zusammenfliessen. Deshalb erhält man auch mit diesem Optometer in der Regel zu niedrige Werthe. So erhielt z. B. *A* bei zehn Beobachtungen als Minimum 0,137 und als Maximum 0,167 Meter Entfernung, als Mittel aber 0,1495 Meter.

Ich habe diese Zahlen absichtlich vollständig mitgetheilt, damit man sehe, wie sehr veränderlich der Accommodationszustand des Auges ist, und wie wenig man sich selbst auf das Mittel aus einer grossen Anzahl solcher Messungen verlassen kann. Ein solches Mittel kann niemals als feste Basis für eine Berechnung benutzt werden, weil der wahrscheinliche Fehler zu gross ist. Höchstens können solche Mittelwerthe als Annäherungswerthe gelten, wodurch einigermaassen der individuelle Zustand des Auges und die Entfernung, in welcher dasselbe deutlich zu sehen **gewohnt** ist, sich ausdrückt. In diesem Sinne werde ich davon auch weiterhin Gebrauch machen.

Eine richtigere Vorstellung hiervon sowie vom Accommodations- 67
vermögen des Auges würde man bekommen, wenn es möglich wäre, die Grenzen der Entfernung zu bestimmen, innerhalb deren Objecte ein klares Bild ohne alle Diffusion auf der Netzhaut erzeugen. Für jenen dem Auge näheren Grenzpunkt ist die Sache allerdings mit ziemlicher Sicherheit auszuführen. Bringt man das eine Ende eines Maassstabes vor das Auge und schiebt man auf demselben einen Gegenstand, z. B. eine Nadel, hin und her, so wird nach dem Auge hin alsbald ein Punkt ausfindig gemacht werden, wo die Nadelränder nicht mehr ganz scharf erscheinen. Das Bild fällt jetzt nicht mehr auf die Netzhaut, sondern hinter dieselbe, und auf die Netzhaut treffen nur convergirende Strahlen. Der Moment aber, wo dies beginnt, ist leicht wahrnehmbar, weil das Diffusionsbild in solchem Falle rasch an Grösse und Ausbreitung zunimmt.

Dieser **erste Grenzpunkt** oder der **Nähepunkt** hatte bei den Personen, auf welche sich die im vorigen Paragraphen enthaltene Tabelle bezieht, folgende in Metern ausgedrückte Werthe:

A	*Ab*	*B*	*C*	*D*	*E*
0,100	0,175	0,135	0,120	0,168	0,125.

Vergleicht man mit diesen Zahlen die mittlere Sehweite, so ergiebt sich allerdings wohl im Allgemeinen, dass einem Auge mit geringer mittlerer Sehweite ein Object auch stärker genähert werden kann, ohne dass das Accommodationsvermögen versagt. Indessen verhält das Auge sich doch nicht ganz ohne Ausnahme auf solche Weise.

Wenn die Bestimmung des Nähepunktes keinerlei Schwierigkeiten 68
bietet, so verhält es sich anders mit dem **zweiten Grenzpunkte** oder dem **Fernpunkte**, wo überhaupt ein solcher vorhanden ist, bei Augen nämlich, die nur für divergirende Strahlen von nicht sehr entfernten Gegenständen accommodirt werden können. Entfernt man einen Gegenstand immer weiter vom Auge, so wird er zuletzt zwar in vielen Fällen an einem Punkte anlangen, wo die von ihm ausgehenden Strahlen sich nicht mehr auf der Netzhaut, sondern vielmehr vor der Netzhaut zu einem

Digitized by Google

Bilde vereinigen, so dass nur divergirende Strahlen darauf fallen, wodurch ein Diffusionsbild entsteht. Das Auffinden dieses Punktes fällt aber deshalb sehr schwer, weil der Gegenstand durch das Fernerrücken immer kleinere und kleinere Bilder im Auge erzeugt, die scheinbar noch die nämliche scharfe Begrenzung haben, wie früherhin, wo der Vereinigungspunkt genau auf die Netzhaut fiel. Könnte man jedoch ein solches Netzhautbildchen eines entfernten Gegenstandes mit einem Vergrösserungsglase betrachten, so dass es gleich gross erschiene, wie das Bild des innerhalb der Grenzen des Accommodationszustandes befindlichen Gegenstandes, dann würde es ohne Zweifel durch seinen nebelartigen Rand in den meisten Fällen als ein Diffusionsbild sich zu erkennen geben. Die Sache lässt sich einigermaassen deutlich machen, wenn man das Bild, welches durch eine vor einem Gegenstande gehaltene Linse geformt wird, auf einem Schirme auffängt. Befindet sich der Gegenstand zunächst in solcher Entfernung, dass das Bild auf dem Schirme vollkommen scharfe Ränder besitzt, so wird man, wenn die Entfernung verkleinert wird, auf der Stelle ein Diffusionsbild wahrnehmen, dessen Undeutlichkeit rasch sich steigert, weil das Bild zugleich auch grösser wird. Rückt man dagegen den Gegenstand weiter von der Linse, so hat man eine Zeit lang noch ein ziemlich scharfes Bild, das nur allmälig immer kleiner wird; und wenn man es dann durch ein Vergrösserungsglas auf die frühere Grösse zurückbringt, so hat es nebelartige Umrisse.

Dass für Augen, die gerade nicht myopisch sind, wirklich ein solcher zweiter Grenzpunkt des Accommodationsvermögens existirt, wird sich weiterhin deutlich herausstellen. Aus dem Mitgetheilten ist aber ersichtlich, dass die Bestimmung des Fernpunktes auf die für den Nähepunkt angegebene Weise nur dann möglich ist, wenn derselbe nicht zu weit vom Auge entfernt ist, also nur bei einem ziemlich bedeutenden Grade von Myopie. Für *A* lag derselbe bei unbewaffnetem Auge in einer Entfernung von 0,270 Meter. Es konnte demnach *A* durch sein Accommodationsvermögen in der Strecke von 0,100 Meter bis 0,270 Meter mit vollkommener Deutlichkeit sehen. Durch die Zerstreuungsbrille verrückte er den ersten Punkt auf 0,175 Meter. Jetzt gelang es ihm aber nicht mehr, den Fernpunkt zu bestimmen, obwohl durch die Brille nicht die geringste Veränderung in seinem Accommodationsvermögen erzeugt worden sein konnte. Sehr weit entfernte Gegenstände, z. B. den Mond am hellen Himmel, sieht er mit ganz scharfen Rändern.

69 Auf eine Besonderheit des Netzhautbildchens ist hier noch aufmerksam zu machen, da sie den Schlüssel giebt zur Erklärung einiger Gesichtserscheinungen. Blickt man auf einen Gegenstand, der stark leuchtet oder erleuchtet ist, so erscheint derselbe immer grösser

Digitized by Google

als ein gleich grosser Gegenstand, der weniger oder gar kein Licht ausstrahlt oder reflectirt. Diese Erscheinung ist unter dem Namen der Irradiation bekannt und erklärt sich aus der seitlichen Ausbreitung des die Netzhaut treffenden Eindrucks. Das wirkliche Netzhautbild kann also ein sehr kleines sein im Verhältniss zu dem Stücke der Netzhaut, die an dem Eindrucke participirt. Das Bild eines Fixsterns z. B. ist fast als ein mathematischer Pnnkt zu betrachten nnd doch wird es vom Auge in einer gewissen Ausdehnung wahrgenommen. Verringert sich die von einem Gegenstande ausstrahlende Lichtmenge, so wird auch die Irradiation abnehmen. Immer aber findet sie in einem stärkeren oder schwächeren Grade statt und sie muss deshalb den Momenten zugezählt werden, die eine Beschränkung im Unterscheidungsvermögen des Auges bedingen, ungeachtet dessen Perceptionsfähigkeit für schwache Eindrücke gerade hierdurch sich steigert.

Neben der Beschränktheit des Accommodationsvermögens und neben **70**
der Irradiation giebt es noch andere allgemeine Ursachen, welche das Wahrnehmungsvermögen des Auges beeinträchtigen.

Zuvörderst kommt hier die wirkliche und die scheinbare Grösse der Gegenstände in Betracht, welche letztere durch den Gesichtswinkel gemessen wird, unter welchem man die Gegenstände sieht.

Gesichtswinkel oder Sehwinkel heisst jener Winkel, welcher durch die von den Enden eines Gegenstandes ausgehenden und sich in einem Punkte im Innern des Augapfels kreuzenden Strahlen gebildet wird. Jener Punkt heisst der Krenzungspunkt der Richtungsstrahlen oder Richtnngslinien, nnd er bezeichnet eigentlich die mittlere Entfernung zweier nahe bei einander gelegenen Punkte, die den Namen der Knotenpunkte führen. Nach den Untersuchungen von Listing (*Beitrag zur physiologischen Optik.* 1845. S. 17) und von Volkmann (Wagner's *Handwörterbuch der Physiologie.* Art. Sehen, Bd. III. Abthlg. 1 S. 289) liegt der Kreuzungspunkt gleich hinter der Krystalllinse, also etwas vorderhalb des Mittelpunktes oder Drehpunktes des Augapfels. Volkmann fand seinen mittleren Abstand von der Vorderfläche der Hornhaut $= 9{,}93^{mm}$, von der Hinterfläche der Linse $= 0{,}93^{mm}$, von der Netzhant $= 14{,}02^{mm}$.

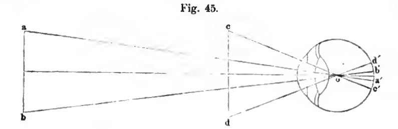
Moser (Dove's *Repertorium d. Physik*, Bd. 5, S. 364) fand die beiden Knotenpunkte 7,98 und $8{,}19^{mm}$ von der Hornhaut entfernt; das Mittel hieraus oder die Entfernung des Kreuzungspunktes ist $8{,}085^{mm}$, und dann beträgt die Entfernung von der Netzhaut $15{,}865^{mm}$. Listing setzt die letztere in runder Zahl $= 15^{mm}$. Es versteht sich aber von selbst, dass dieser Abstand ein veränderlicher ist, nicht bloss bei verschiedenen Individuen, sondern auch nach dem wechselnden Accommodations-

Digitized by Google

zustande des Auges, daher auch diese Zahlen nur als annähernde betrachtet werden können.

71 Dass die Grösse des Netzhautbildchens von dem Gesichtswinkel abhängig ist, unter welchem man den nämlichen Gegenstand wahrnimmt, ist aus Fig. 45 ersichtlich. Für das Object *ab* ist *aob* der Gesichtswin-

Fig. 45.



kel, und sein Netzhautbildchen liegt in der Strecke *b'a'*. Bringt man das nämliche Object in eine dreimal geringere Entfernung von dem Kreuzungspunkte nach *cd*, dann ist der Gesichtswinkel *cod* sowohl wie das Netzhautbildchen *d'c'* dreimal grösser geworden.

Besässen nun alle Augen ein gleiches Accommodationsvermögen und wäre die Netzhaut stets gleich empfänglich für Gesichtseindrücke, dann würde auch die kleinste Grösse, bei welcher Gegenstände noch wahrgenommen werden können, für alle Augen gleich sein. Dies ist indessen nicht der Fall, vornehmlich deshalb, weil die Grenzpunkte des deutlichen Sehens für jedes Auge verschieden sind.

72 Die Frage nach den kleinsten noch mit blossem Auge wahrnehmbaren Objecten ist nicht ohne Bedeutung für die Theorie des Mikroskopes. Ihre Beantwortung wird uns weiterhin auch als Maassstab dienen, um die Wirkung dieses Instruments zu beurtheilen. Nur ist diese Beantwortung nicht leicht mit vollkommener Genauigkeit möglich, weil es an Mitteln fehlt, den Durchmesser eines Gegenstandes dergestalt stufenweise zu vermindern, dass der Moment, wo er verschwindet, mit Bestimmtheit sich festsetzen liesse.

Ich werde im Folgenden die Resultate zweier bezüglichen Versuchsreihen mittheilen. Bei der ersten Reihe wurden kleine undurchsichtige Objecte benutzt und zwar von verschiedener Grösse, die einigermaassen wenigstens die Grenzen ihrer Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit für die Augen verschiedener Personen zu bestimmen erlaubten. Bei der anderen Versuchsreihe wurden statt wirklicher Objecte nur deren dioptrische Bildchen benutzt, die den grossen Vorzug vor den wirklichen Objecten voraus haben, dass ihre Grösse willkürlich abgeändert werden kann.

Zuerst wurden Pollenkörnchen von verschiedenen Pflanzen zwischen zwei vollkommen gereinigten Glasplättchen in der Weise eingeschlossen, dass die einzelnen Körnchen isolirt waren; alle Körnchen waren aber ziemlich kugelrund, weiss und undurchsichtig. Die nachfolgenden Bestimmungen wurden bei durchfallendem Lichte aufgenommen, weil die meisten mikroskopischen Beobachtungen bei diesem Lichte angestellt werden, und weil man dabei auch weniger Gefahr läuft, durch Irradiationserscheinungen beirrt zu werden, als bei auffallendem Lichte. Um stets den gleichen Beleuchtungsgrad zu haben, wurden alle Beobachtungen beim Lichte einer Argand'schen Lampe angestellt, die hinter einem matt geschliffenen Glase stand, 1 Meter von dem Objecte entfernt. Die Entfernung dieses letzteren vom Auge war eine solche, bei welcher der Beobachter dasselbe am besten sehen konnte. Die Grösse der Objecte ist auf Tausendtheile des Millimeters berechnet. 73

	Mittlere Sehweite in Metern.	Nähepunkt in Metern.	Wahrnehmbare Objecte.		Nichtwahrnehmbare Objecte.	
A	0,162	0,100	23 Mmm.	$= {}^{1}/_{43.5}$ mm	—	
Ab	0,400	0,175	46 „	$= {}^{1}/_{21.5}$	41 Mmm.	$= {}^{1}/_{24.4}$ mm
B	0,372	0,135	40 „	$= {}^{1}/_{25}$	37,5 „	$= {}^{1}/_{27}$
C	0,304	0,120	37,5 „	$= {}^{1}/_{27}$	32 „	$= {}^{1}/_{31.3}$
D	0,273	0,168	46 „	$= {}^{1}/_{21.5}$	41 „	$= {}^{1}/_{24.4}$
E	0,255	0,125	25,5 „	$= {}^{1}/_{39.2}$	23 „	$= {}^{1}/_{43.5}$

Für die Augen der fünf Personen, welche diese Versuche anstellten, stellte sich also ${}^{1}/_{21,5}$ bis ${}^{1}/_{43,5}$ mm als die Grenze der Wahrnehmbarkeit runder oder kugelförmiger Körperchen heraus. Vielleicht ist die letztere Zahl selbst noch etwas zu gross, da sie den Durchmesser der kleinsten zur Untersuchung gekommenen Pollenkörnchen angiebt. Nicht immer correspondiren grössere Kleinheit der wahrnehmbaren Objecte und stärkere Annäherung des Nähepunktes mit einander; bei *C* und *D* zeigt sich ein umgekehrtes Verhältniss, was beweist, dass hier in der Empfindlichkeit der Netzhaut eine Verschiedenheit obwaltet. Als Regel darf man aber allerdings annehmen, dass die Fähigkeit, kleinste Objecte wahrzunehmen, mit der Accommodationsfähigkeit für kleine Entfernungen zunimmt. Da nun Myopische im Allgemeinen diese Art der Accommodation im stärksten Grade besitzen, so vermögen sie auch kleine Objecte viel schärfer zu unterscheiden, als Personen, deren Augen diese Fähigkeit in einem geringeren Grade besitzen. Es ist darum wohl mit Sicherheit anzunehmen, dass ein stärker myopisches Auge, als das von *A*, selbst noch kleinere Gegenstände wahrnehmen kann. Hueck (*Die Bewegung der*

Digitized by Google

Krystalllinse. Leipzig 1841, S. 7) gedenkt des Falles, wo für ein Auge der Nähepunkt 20mm, der Fernpunkt 74mm betrug. Ein solches Auge, wenn es sich sonst in einem guten Zustande befindet, würde einen fünfmal kleineren Gegenstand, als das Auge von *A*, noch zu erkennen im Stande sein, also einen Gegenstand von nur $^1/_{217}$mm Durchmesser, oder einen solchen, der merklich kleiner wäre als ein Blutkörperchen.

74 In der Wirklichkeit geht aber das Wahrnehmungsvermögen des blossen Auges noch weiter. Körper, die im Verhältniss zu ihrer Dicke sehr lang sind, wie Draht oder Haare, werden mit grösserer Leichtigkeit gesehen, als viereckige oder runde Körperchen von gleichem Durchmesser. Der Grund dieser Verschiedenheit ist in dem simultanen Eindrucke zu suchen, den die Netzhaut dann auf vielen Punkten ihrer Oberfläche empfängt, also in der Summe der vielen Partialeindrücke. In der That habe ich keine derartig geformten natürlichen Objecte ausfindig machen können, die nicht mit blossem Auge zu sehen wären. Wenn ich einen Spinnewebfaden von $^1/_{476}$mm Durchmesser im Rohre eines Mikroskops, dessen Gläser weggenommen waren, dem durch eine Argand'sche Lampe beleuchteten matten Glase so gegenüber stellte, dass gar keine Reflexion *) an den Rändern des Fadens stattfand, so wurde der Faden noch deutlich von Allen wahrgenommen. In dieser Dicke hat man also noch nicht die Grenze für die Fähigkeit, draht- oder haarförmige Körper mit blossem Auge wahrzunehmen**).

75 Der Gesichtswinkel ***), unter welchem solche kleine Objecte gesehen werden, ist natürlich ein sehr kleiner. Die früheren derartigen

*) Sobald Reflexion stattfindet, wird der Faden in Folge der Irradiation viel sichtbarer. Jedermann weiss, wie leicht ein Spinnewebfaden im Sonnenlichte erkannt wird. Den erwähnten Faden, wenn er sich gerade in der Axe des Rohrs befand, konnte *A* noch bei 0,192 Meter Entfernung sehen. Kam er aber 7mm seitlich von der Axe zu stehen, wo dann Reflexion an seiner Oberfläche stattfand, so konnte diese Entfernung auf 0,560 Meter vergrössert werden.

**) In meiner Schrift: *Recherches micrométriques sur le développement des tissus et des organes humains.* 1845, p. 2, gab ich an, ein Spinnewebfaden von $^1/_{700}$mm Dicke sei noch sichtbar. Da ich damals nicht, wie jetzt, alle Sorgfalt verwendet hatte, um Reflexion und die hierdurch bewirkte Irradiation zu vermeiden, so ist oben nur die mit Ausschluss der Irradiation bewirkte Wahrnehmung angegeben. Indessen zweifle ich nicht daran, dass noch viel feinere Fäden sichtbar sind.

***) Die Grösse so kleiner Gesichtswinkel in Secunden, die hier allein in Betracht kommen, lässt sich, wenn die Entfernungen und die Grösse des Objects in Tausendtheilen des Millimeters ausgedrückt werden, auf sehr einfache Weise nach der Formel

$$Q = \frac{162000}{0{,}7853981} \cdot \frac{d}{a+b} \text{ oder } Log.\ q = 5{,}31443 + Log.\ \frac{d}{a+b}$$

berechnen, wo *Q* den Gesichtswinkel, *a* die Entfernung des Objects von der Hornhaut, *d* den Durchmesser des Objects und *b* die Entfernung des Kreuzungspunktes der Richtungsstrahlen von der Hornhaut bedeutet. Es gründet sich diese Formel, die ich meinem verstorbenen Freunde Wenckebach verdanke, auf die Annahme, dass bei sehr kleinen Bogen die Tangente und der Bogen beinahe gleich lang sind.

Digitized by Google

Beobachtungen von Jurin, Smith, Mayer findet man zusammengestellt bei Priestley (*History and present state of discoveries relating to vision, light and colours.* 1772, p. 678). In neuerer Zeit haben Treviranus (*Beiträge z. Anat. u. Phys. der Sinneswerkzeuge* S. 31), Valentin (*Physiologie* Bd. 2, S. 331), Harris (*Mackenzie's Physiology of Vision* p. 146) und besonders Hueck *Bewegung der Krystalllinie* S. 14 und *Müller's Archiv* 1840. S. 82) Beobachtungen über die kleinsten Gesichtswinkel angestellt. Wenn dabei keine übereinstimmenden Resultate erzielt worden sind, so rührt dies zunächst daher, dass jenes zu den Beobachtungen benutzte Werkzeug, das Auge nämlich, so verschiedenartig ist, und dann ist auch zu berücksichtigen, dass Nebenumstände, vornehmlich die Art der Beleuchtung, einen mehr oder weniger erheblichen modificirenden Einfluss ausüben.

Es scheint mir deshalb nicht unpassend zu sein, wenn ich im Folgenden 76
die Resultate einer Reihe eigener Untersuchungen über diesen Punkt mittheile. Zu diesem Zwecke wurden zunächst die Grössen zweier Reihen von Körperchen bestimmt: die erste Reihe begreift lauter Körperchen von ziemlich kugelförmiger Gestalt, die zweite Reihe dagegen solche Objecte, bei denen die 25 bis 30^{mm} betragende Länge ein entschiedenes Uebergewicht über die Breite hat. Wo nöthig, ist die Dicke der Körper mit vorwaltender Länge für drei verschiedene Stellen verzeichnet worden.

Digitized by Google

a) Kugelförmige Objecte.

	Farbe.	Durchmesser in Tausendtheilen des Millimeters. Grösster.	Kleinster.	Mittlerer.
1. Körnchen von Perlsago . . . . : . .	Weiss	1540	1460	1500 $= 1\frac{1}{2}$ mm
2. Pollenkörnchen von *Lavatera alba* .	Weiss	181	175	178 $= \frac{1}{5{,}7}$
3. " " *Mirabilis Jalappa*	Gelb	174	171	172,5 $= \frac{1}{5{,}8}$
4. " " " "	Gelb	161	161	161 $= \frac{1}{6{,}2}$
5. " " " "	Gelb	143	140	141,5 $= \frac{1}{7{,}1}$
6. " " *Lavatera alba* .	Weiss	143	140	141,5 $= \frac{1}{7{,}1}$
7. " " *Mirabilis Jalappa*	Gelb	141	132	136,5 $= \frac{1}{7{,}3}$
8. " " *Cucurbita Pepo* .	Gelb	134	130	132 $= \frac{1}{7{,}6}$
9. " " *Mirabilis Jalappa*	Gelb	118	117	117,5 $= \frac{1}{8{,}5}$
10. " " *Dipsacus pilosus*	Weiss	80	78	79 $= \frac{1}{12{,}6}$
11. " " *Canna indica* . .	Gelblichweiss	61	50	60,5 $= \frac{1}{16{,}5}$
12. " " *Salvia bracteata*	Gelblichweiss	61	50	55,5 $= \frac{1}{18}$
13. " " *Phlox paniculata*	Weiss	48	45	46,5 $= \frac{1}{21{,}5}$
14. " " *Campanula rapunculoides*	Weiss	42	40	41 $= \frac{1}{24{,}4}$
15. " " *Dahlia Markii* .	Gelb	43	37	40 $= \frac{1}{25}$
16. Sporidie von *Lycopodium clavatum* .	Gelb	39	36	37,5 $= \frac{1}{27}$
17. Pollenkörnchen v. *Erythrina crista galli*	Gelb	33	31	32 $= \frac{1}{31{,}3}$
18. " " *Delphinium hirsutum*	Gelb	29	26	27,5 $= \frac{1}{36{,}4}$
19. " " *Antirrhinum majus*	Weiss	35	16	25,5 $= \frac{1}{39{,}2}$
20. " " *Clematis cylindrica*	Weiss	24	22	23 $= \frac{1}{43{,}5}$

b) Objecte mit entschiedenem Uebergewichte der Länge über die Breite.

	Durchmesser in Tausendtheilen des Millimeters.			
	Ende.	Mitte.	Anderes Ende.	Mitte.
1. Messingdraht	—	—	—	279 = $^1/_{3,6}$ mm
2. Desgleichen	—	—	—	227 = $^1/_{4,4}$
3. Desgleichen	—	—	—	194 = $^1/_{5,1}$
4. Desgleichen	—	—	—	91 = $^1/_{10,8}$
5. Haar vom Löwen	87	83	82	84 = $^1/_{12}$
6. „ „ Leoparden	60	65	78	68 = $^1/_{15}$
7. „ „ Menschen	61	60	68	63,4 = $^1/_{16}$
8. „ von der Katze	42	53	43	46,3 = $^1/_{22}$
9. „ vom blauen Fuchse	33	42	36	37,0 = $^1/_{27}$
10. Faden vom Seidenwurme *)	—	—	—	25,3 = $^1/_{40}$
11. Haar vom blauen Fuchse	16	17	20	17,7 = $^1/_{59}$
12. „ „ Kaninchen	13	17	14	14,7 = $^1/_{69}$
13. „ „ *Mus laniger*	10	14	17	13,7 = $^1/_{73}$
14. Desgleichen	13	14	12	13 = $^1/_{77}$
15. Faden eines Schraubenmikrometers **)	—	—	—	9,5 = $^1/_{105}$
16. Spinnewebfaden ***)	—	—	—	2,1 = $^1/_{476}$

Bei der Beobachtung dieser beiden Objectreihen wurde folgendes 77
Verfahren eingehalten. Bei auffallendem Lichte wurden die Objecte auf einen schwarzen Grund gelegt. In den meisten Fällen jedoch wurde, wie aus den Tabellen ersichtlich ist, durchfallendes Licht benutzt. Zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes diente, die in den Tabellen angedeuteten Fälle ausgenommen, eine Argand'sche Lampe, deren Flamme so geregelt wurde, dass die Lichtstärke für jede Beobachtungsreihe die nämliche blieb. Die Flamme war durch ein matt geschliffenes Glas gedeckt, und in einiger Entfernung von diesem stand vŏr der Mitte der Flamme ein Diaphragma mit einer 3 Centimeter grossen Oeffnung. Die Nothwen-

*) Grösster Durchmesser 29 Mmm., kleinster Durchmesser 23 Mmm.
**) Grösster Durchmesser 10 Mmm., kleinster Durchmesser 8,8 Mmm.
***) Grösster Durchmesser 2,5 Mmm., kleinster Durchmesser 1,9 Mmm.

Digitized by Google

digkeit eines solchen gleichförmigen Beleuchtungsgrades wird sich alsbald herausstellen. Das Object war zwischen zwei reine Glasplättchen eingeschlossen und befand sich auf einer passenden Unterlage in gleicher Höhe mit der Oeffnung des Diaphragma. Vor dem Objecte befand sich das horizontale Rohr eines Mikroskopes, aus dem die Gläser herausgenommen waren, in der Weise, dass das Object in der verlängerten Axe des Rohrs gelegen war, welche Verlängerung zugleich durch die Mitte des Diaphragma und der Flamme ging. Der Beobachter hatte noch ein anderes Rohr vor dem Auge, welches stets auf das Object gerichtet blieb, und er entfernte sich langsam von diesem, bis es zuletzt zum Verschwinden kam. Hierauf bewegte er sich wiederum vorwärts, bis er eine Spur des Objectes wahrnahm, und jetzt wurde dessen Entfernung vom Auge gemessen. Aus dem bekannten Durchmesser des Objectes und der gefundenen Entfernung wurde dann der Gesichtswinkel berechnet, indem noch 10^{mm} hinzugerechnet wurden für die Entfernung vom Kreuzungspunkte des Auges bis zur äusseren Oberfläche der Hornhaut.

Die erste Tabelle giebt die Beobachtungen über Sichtbarkeit der in der ersten Objectreihe verzeichneten runden oder kugelförmigen Körperchen. Die Entfernungen, in denen dieselben eben noch wahrgenommen werden, sind in Metern ausgedrückt, die Gesichtswinkel aber in Secunden. Beobachter sind die bereits früher (§. 66) angeführten Individuen *A*, *Ab*, *B*, *C*, *D* und *E*. Es hat aber *A* mit allen 20 Objecten ohne Ausnahme experimentirt, während die Versuche der übrigen sich nur auf einige von diesen 20 Objecten erstreckten. Deshalb werden die letzteren gleichsam anhangsweise beigefügt.

Die zweite Tabelle enthält die Beobachtungen über Sichtbarkeit der in der zweiten Objectenreihe verzeichneten Körper, die 100 bis 12000 mal so lang als breit sind. Die Beobachtungen sind beim durchfallenden Lichte einer Argand'schen Lampe angestellt, die sich in 1 Meter Entfernung von den Objecten befand. Die Entfernung des Auges ist hier ebenfalls in Metern und der Gesichtswinkel in Secunden ausgedrückt.

Erste Tabelle. A mit 0,162 Meter mittlerer Sehweite.

Objecte, §. 76 a.	Durchmesser in Mmm.	Auffallendes Licht. Starkes Sonnenlicht.	Auffallendes Licht. Flamme einer Argand'schen Lampe unter einem Winkel von 60°, bei einer Entfernung von 0,07 Meter	0,28 Meter	Durchfallendes Licht. Flamme einer Argand'schen Lampe hinter dem Objecte, und zwar in einer Entfernung von: 0,16 Meter	1 Meter		3,6 Meter	6 Meter		Sonnenlicht, durch ein Blatt weisses Papier reflectirt.
		Entfernung des Auges.	Entfernung des Auges.	Entfernung des Auges.	Entfernung des Auges.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.
Nro. 1	1500	—	—	—	—	1,045	368,2″	—	—	—	—
„ 2	178	0,540	0,417	0,313	0,375	0,396	90,4″	0,469	0,506	71,2″	0,404
„ 3	172,5	0,555	—	—	0,375	0,428	81,3″	—	—	—	0,406
„ 4	161	0,570	—	—	0,358	0,445	73,0″	—	—	—	0,402
„ 5	141,5	0,635	0,398	0,304	0,355	0,435	65,7″	0,509	0,520	55,2″	0,395
„ 6	141,5	0,630	—	—	0,369	0,404	70,5″	—	—	—	0,414
„ 7	136,5	0,585	—	—	0,368	0,413	66,3″	—	—	—	0,397
„ 8	132	0,545	—	—	0,346	0,409	65,1″	—	—	—	0,420
„ 9	117,5	0,590	0,378	—	0,363	0,385	61,4″	0,422	0,439	54,0″	0,388
„ 10	79	—	—	—	—	0,341	46,4″	—	0,387	41,1″	—
„ 11	60,5	—	—	—	—	0,302	40,0″	—	—	—	—
„ 12	55,5	—	—	—	—	0,262	42,1″	—	—	—	—
„ 13	46,5	—	—	—	—	0,250	36,9″	—	0,278	33,3″	—
„ 14	41	0,343	—	—	—	0,246	33,0″	—	—	—	0,212
„ 15	40	0,365	—	—	—	0,253	31,4″	—	—	—	0,188
„ 16	37,5	0,380	—	—	—	0,247	30,1″	—	0,259	28,8″	0,230
„ 17	32	0,320	—	—	—	0,235	30,7″	—	—	—	0,183
„ 18	27,5	0,270	—	—	—	0,193	28,0″	—	0,233	23,3″	0,170
„ 19	25,5	0,366	—	—	—	0,167	29,7″	—	—	—	0,130
„ 20	23	—	—	—	—	0,128	34,4″	—	0,160	27,9″	—
		a	b	c	d	e		f	g		h

Durchfallendes Licht einer Argand'schen Lampe bei 1 Meter Entfernung von den Objecten.

Objecte, §. 76 a.	Durchmesser in Mmm.	*Ab* mit 0,400 Meter mittlerer Schweite.		*B* mit 0,372 Meter mittlerer Schweite.		*C* mit 0,304 Meter mittlerer Schweite.		*D* mit 0,273 Meter mittlerer Schweite.		*E* mit 0,255 Meter mittlerer Schweite.	
		Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.
Nro. 1	1500	3,195	96,8″	—	—	3,620	85,2″	3,562	86,7″	—	—
„ 2	178	0,645	56,0″	0,822	44,2″	—	—	0,520	69,3″	0,575	63,0″
„ 3	172,5	—	—	—	—	0,934	37,2″	—	—	0,548	63,8″
„ 4	161	0,735	44,6″	1.112	29,7″	—	—	0,750	43,7″	—	—
„ 6	141,5	—	—	—	—	—	—	—	—	0,360	78,9″
„ 7	136,5	0,630	44,0″	0,762	36,5″	—	—	0,481	57,3″	0,380	72,2″
„ 9	117,5	0,545	42,7″	—	—	—	—	0,420	43,8″	0,387	61,1″
„ 10	79	0,452	35,3″	0,536	29,9″	0,570	28,2″	0,328	37,9″	0,285	55,3″
„ 11	60,5	0,355	34,2″	—	—	—	—	0,248	48,4″	—	—
„ 12	55,5	—	—	0,388	28,8″	0,470	24,0″	—	—	0,219	50,0″
„ 13	46,5	0,211	43,4″	0,267	34,6″	0,245	37,6″	0,215	42,6″	0,170	53,3″
„ 14	41	—	—	—		0,164	48,6″	—	—	—	—
„ 15	40	—	—	0,212	57,2″	0,110	68,8″	—	—	—	—
„ 16	37,5	—	—	—	—	0,093	75,2″	—	—	0,182	40,3″

Zweite Tabelle.

Objecte §. 76 b.	Durchmesser in Mmm.	A mit 0,162 Meter mittlerer Sehweite.		Ab mit 0,400 Meter mittlerer Sehweite.		B mit 0,372 Meter mittlerer Sehweite.		C mit 0,304 Meter mittlerer Sehweite.		D mit 0,273 Meter mittlerer Sehweite.		E mit 0,255 Meter mittlerer Sehweite.	
		Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel.
Nr. 1	279	1,065	53,5″	3,735	15,5″	6,812	8,5″	5,450	10,5″	4,950	11,5″	—	—
„ 2	227	0,976	47,5″	3.380	13,8″	6,104	7,5″	4,710	9,9″	4,404	10,6″	—	—
„ 3	194	0,865	45,8″	3,065	13,1″	6,239	6,4″	4,555	8,8″	4,390	9,1″	—	—
„ 4	91	0,680	27,2″	2,125	6,1″	4,604	4,1″	3,560	5,3″	2,980	6,3″	—	—
„ 5	84	0,850	19,7″	2,110	8,2″	4,490	3,9″	—	—	1,880	9,4″	1,110	15,5″
„ 6	68	0,690	20,0″	1,970	7,1″	3,740	4,3″	3,240	4,2″	1,760	8,0″	1,000	14,6″
„ 7	63,4	0,780	16,5″	1,830	7,1″	2,993	4,6″	—	—	1,650	7,9″	1,155	12,0″
„ 8	46,3	0,750	12,6″	1,900	5,0″	—	—	2,720	3,5″	1,705	5,6″	0,980	5,6″
„ 9	37	0,745	10,1″	1,355	5,5″	2,629	2,8″	1,480	5,1″	1,548	5,0″	—	—
„ 10	25,3	0,520	9,8″	1,110	5,7″	2,228	2,3″	1.890	2.8″	1,426	3,7″	—	—
„ 11	17,7	0,462	7,8″	1,010	3,6″	0,997	3,6″	1,460	2,5″	1,148	3,2″	0,662	5.4″
„ 12	14,7	0,445	6,7″	0,884	3,4″	0,668	4,3″	0,720	4,1″	0,964	3,2″	0,690	4,1″
„ 13	13,7	0,503	5,5″	0,998	2,8″	0,316	8,6″	0,947	3,0″	1,020	2,7″	—	—
„ 14	13	0,490	5,3″	0,905	2,9″	0,268	9,7″	1,055	2,6″	0,904	2,9″	0,648	4,0″
„ 15	9,5	0,367	5,2″	0,521	3,7″	—	—	0,772	2,5″	—	—	—	—
„ 16	2,1	0,192	2,1″	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

78 Unerachtet alle Sorgfalt darauf verwendet wurde, dass die Beobachtungen so genau als möglich ausfielen, war es doch nicht zu vermeiden, dass ein Paar sich widersprechende Ergebnisse hervortreten. Der Leser wird bemerken, dass der nämliche Beobachter manchmal kleinere Objecte in einer grösseren Entfernung wahrgenommen hat, als andere etwas grössere Objecte, was natürlich nicht geschehen könnte, wenn die Umstände einander immer ganz gleich wären. Bedenkt man indessen, wie veränderlich der Zustand des Auges ist, und dass eine geringe Differenz in der mehr oder weniger genauen Wirkung des Accommodationsvermögens sogleich einen erheblichen Einfluss auf die Wahrnehmung haben muss, so können diese abweichenden Ergebnisse nicht gerade in Verwunderung versetzen. Auch thun sie in keiner Weise den allgemeinen Folgerungen Eintrag, die sich aus diesen Beobachtungen ziehen lassen.

79 Zuvörderst giebt sich der Einfluss der Beleuchtung zu erkennen. Bei auffallendem Sonnenlichte kann man einen Gegenstand in viel grösserer Entfernung sehen, als wenn er auf andere Weise beleuchtet ist. Offenbar rührt dies von der starken Irradiation auf die Netzhaut durch das reflectirte Licht her, was sich auch dadurch bestätigt, dass, wenn die Entfernung des Auges bei kleineren Gegenständen (Tab. I. Col. *a*. Nro. 14 bis 19) mit jener bei grösseren Gegenständen (ebendaselbst Nro. 1 bis 9) verglichen wird, die Abnahme verhältnissmässig nicht so bedeutend ist, wie bei einer anderen Beleuchtungsart (Tab. I. Col. *c* und *h*). Die Extension der irradiirten Netzhautoberfläche hängt nämlich nicht sowohl von der Lichtmenge, als vielmehr von dessen Intensität ab.

In dem Maasse als die Intensität des auffallenden Lichtes abnimmt, mindert sich auch, wie es im Voraus zu erwarten war, die Entfernung für die Wahrnehmbarkeit (Tab. I. Col. *b* und *c*).

80 Gerade das Umgekehrte zeigt sich bei durchfallendem Lichte (Tab. I. Col. *d*, *e*, *f*, *g*). Innerhalb der Grenzen, worin die Beobachtungen angestellt wurden, wächst die Sichtbarkeitsentfernung und verkleinert sich folglich der Gesichtswinkel in dem Maasse, als das Licht sich weiter entfernt und das Gesichtsfeld weniger erleuchtet ist. Dies lässt sich ebenfalls auf Irradiation zurückführen, die aber hier im umgekehrten Sinne wirksam ist. Wird nämlich ein nicht durchsichtiger Gegenstand auf einem erleuchteten Felde beobachtet, so entsteht gar kein wirkliches Bild des Gegenstandes auf der Netzhaut, weil ja von ihm keine Strahlen ausgehen, sondern die Wahrnehmung kommt dadurch zu Stande, dass die Netzhaut ringsum einen Lichteindruck bekommt und inmitten dieses Lichtbildes eine kleine nicht erleuchtete Stelle sich befindet. Auf dieser Stelle entsteht daher ein Schattenbildchen des Gegenstandes. Wie aber jedes andere Licht nach allen Seiten hin auf der Netzhaut seinen Eindruck

Digitized by Google

fortpflanzt, so geschieht es auch mit dem das Schattenbildchen umgebenden Lichtkreise; durch dessen Ausbreitung nach innen nimmt die Dunkelheit des Schattenbildchens ab und dasselbe wird deshalb nicht so deutlich gesehen, als es sonst der Fall sein würde. Je grösser die Intensität des auf die Netzhaut fallenden Lichtes ist, um so mehr verliert das Schattenbildchen an Deutlichkeit.

Eine Vergleichung der Ergebnisse beider Tafeln bestätigt entschieden die frühere Angabe, dass Objecte, die in der einen Richtung stark verlängert sind, weit leichter wahrgenommen werden, als solche, die in allen Richtungen den nämlichen Durchmesser haben. Wie weit diese durch die Form bedingte Verschiedenheit der Sichtbarkeitsentfernung geht, das lässt sich aus den in den Tabellen verzeichneten Daten nicht mit Genauigkeit ermitteln. Dazu wären vergleichende Untersuchungen kugelförmiger und fadenförmiger Körper von ganz gleichem Durchmesser erforderlich, und diese Bedingung findet sich bei den geprüften Objecten nicht verwirklicht. Indessen kann man diesem Ziele doch nahe kommen, wenn die einander am nächsten stehenden Beobachtungen mit einander verglichen werden. 81

	Kugelförmige Objecte.			Fadenförmige Objecte.		
	Durchmesser in Mmm.	Entfernung.	Gesichtswinkel.	Durchmesser in Mmm.	Entfernung.	Gesichtswinkel.
A	178	0,396	90,4″	194	0,865	45,8″
	79	0,341	46,4″	84	0,850	19,7″
	46,5	0,250	36,9″	46,3	0,750	12,6″
	25,5	0,167	29,7″	25,3	0,520	9,8″
B	178	0,822	44,2″	194	6,239	6,4″
	79	0,762	36,5″	84	4,490	3,9″
	40	0,212	37,2″	37	2,629	2,8″
D	178	0,520	69,3″	194	4,390	9,1″
	79	0,328	37,9″	84	2,980	6,3″
	46,5	0,215	42,6″	46,3	1,705	5,6″

Aus dieser Zusammenstellung ersieht man, dass in dieser Beziehung bei verschiedenen Beobachtern eine nicht unerhebliche Verschiedenheit sich kund giebt. Der Myope *A* nimmt die fadenförmigen Objecte in einer zwei- bis dreimal grösseren Entfernung wahr als die kugelförmigen, der fernsehende *B* in einer acht- bis zwölfmal grösseren Entfernung, und der weniger fernsehende *D* in einer acht- bis neunmal grösseren Entfer-

Digitized by Google

nung. Ausserdem lässt sich auch erkennen, dass im Allgemeinen die Ungleichheit für Sichtbarkeitsentfernung in dem Maasse zunimmt, als der Durchmesser der Objecte kleiner wird.

82 Der kleinste Gesichtswinkel, unter welchem Gegenstände noch gesehen werden können, ist nicht für alle Augen der nämliche; dies erhellt deutlich aus den Zahlen der Tabellen. Der kleinste Winkel bei kugelförmigen Objecten und bei der gewöhnlichen Beleuchtung war 24″, und bei schwächerer Beleuchtung des Gesichtsfeldes würde diese Zahl wohl noch etwas kleiner ausfallen; denn ein auf diese Weise beleuchtetes Object, welches nur unter einem Winkel von 28″ gesehen werden konnte, wurde unter einem Winkel von 23,3″ sichtbar, nachdem die Lampe in eine sechsmal grössere Entfernung gerückt war. Indessen konnte der eine Beobachter keine Objecte sehen, deren Gesichtswinkel kleiner als 40,3″ war. Man wird sich deshalb nicht sehr von der Wahrheit entfernen, wenn man annimmt, der kleinste Gesichtswinkel für kugelförmige Körper innerhalb der Grenzen des Accommodationsvermögens liege für verschiedene Augen zwischen 20″ und 40″, und sei im Mittel = 30″. Bei fadenförmigen Objecten liegen die Grenzen des Gesichtswinkels nach Tab. II. zwischen 2″ und 4″, und im Mittel ist er = 3″; bei ihnen ist er mithin zehnmal kleiner als bei runden Objecten.

83 Schon ein flüchtiger Blick auf die Tabellen belehrt uns, dass grössere Objecte bereits unter einem grösseren Gesichtswinkel der Sichtbarkeit verlustig gehen. Das erklärt sich aus dem früher über die Grenzen des Accommodationsvermögens Mitgetheilten und es kann zugleich als Beweis für dessen Richtigkeit gelten. Wir sehen eine Zunahme des Gesichtswinkels, die parallel geht mit der Entfernung, in welcher die Objecte noch sichtbar sind, und es tritt diese Zunahme um so schneller ein, je schwächer das Accommodationsvermögen für grosse Entfernungen ist. Das Nämliche erkennt man aus den Tabellen Hueck's*) (*Bewegung der Krystalllinse*, S. 14 — 17), obschon derselbe für jene Fälle, wo er auf die oben angegebene Weise keinen Fernpunkt für das Accommodationsvermögen aufzufinden vermochte, annimmt, das Grösserwerden des Gesichtswinkels bei grösseren Entfernungen sei blos dem Umstande zuzuschreiben, dass die Atmosphäre nicht ganz durchsichtig war. Es versteht sich von selbst, dass bei kleineren Entfernungen von höchstens 6 Metern, wie die oben verzeichneten Beobachtungen und auch viele Beobachtungen Hueck's

*) Hueck hat alle seine Beobachtungen bei auffallendem Lichte angestellt. Wie trügerisch diese Beleuchtungsweise ist, habe ich bereits oben angegeben. Deshalb ist es wahrscheinlich, dass die von ihm wahrgenommene Differenz geringer war bei weissen Streifen auf schwarzem Grunde, als bei schwarzen Streifen auf weissem Grunde.

angestellt worden sind, dieser Einfluss als nicht besteheud angenommeu werdeu muss.

Bei manchen Augen geht aber das Accommodationsvermögen so weit, dass der Breunpunkt der parallelen Strahlen gerade auf die Netzhaut fällt. Ein solches Auge würde, unter sonst gleichen Umständen, unendlich weit entfernte Gegenstände unter einem gleichen Winkel sehen können, wie alle andereu, die sich uoch vor seinem Nähepunkte befindeu. Es ist bekannt geuug, wie grosse Verschiedenheiten in Betreff der Fähigkeit, sehr weit entfernte Gegenstände wahrzunehmen, angetroffen werden. Jedermann weiss, wie ein Gegenstand, der sich am Rande des Horizonts zeigt, von Seeleuten hereits als ein Schiff erkannt wird, während er solcheu, deren Augen im Betrachten ferner Gegenstände weniger geübt sind, kaum als ein sichtharer Punkt erscheint. Ich will hier ein Paar Beispiele anführen, welche darthun, dass das Sehen in sehr grosser Entfernung auch uoch unter einem sehr kleiuen Gesichtswinkel möglich ist, sofern die Umstände günstig sind. 84

In den „*Ansichten der Natur*“ erzählt v. Humboldt von einem Luftballon, der 4 Klafter oder 7,53 Meter Durchmesser hatte, und deu man in Berliu in einer Entfernung von 6700 Klafter oder 12605 Meter niederfallen sah, hinzufügeud, dass man ihn auch in einer noch grösseren Entfernung hätte scheu können. Für die genannte Entfernung ergab sich ein Gesichtswinkel von 124″. In unserer dunsetrfüllten Atmosphäre sind die Gegenstände natürlich nicht in solcher Entfernung sichtbar, wie dort, wo die Atmosphäre sehr durchsichtig ist. In der Provinz Quito konnte v. Humholdt den Poncho oder den weisseu Mautel eines Reiters iu einer Entfernung von 14022 Klafter oder 26381 Meter (etwa $5^1/_2$ Wegstunden) noch mit hlossem Auge sehen. Der Gesichtswinkel war hier 13″, also etwa halh so viel als der kleinste Winkel, unter welchem nach den obigeu Tahellen Gegenstände, die eben so lang als breit sind, in einer geringen Entfernung erkannt werden können, was auf die Vermuthung führt, dass die starke Reflexion der Sonnenstrahlen durch die weisse Farbe des Ohjectes hier von hedeutendem Einflusse gewesen ist.

Bei Darwin (*Reise um die Welt*, übers. von Dieffenbach, II. S. 6) ist eine Beohachtung verzeichnet, wonach längliche Gegenstände in einer sehr grossen Entfernung noch sichthar wareu. Beim Ersteigen des 6400 Fuss hohen Campana oder Glockenhergs in Chili konnte er die Maste der Schiffe, die iu Valparaiso, in einer Entfernung von 26 geographischen Meilen vor Anker lagen, noch als dünue schwarze Streifen unterscheiden. Rechnet man den Durchmesser dieser Maste zu 1 Meter, so war der Gesichtswinkel bei dieser Entfernuug nur 2,1″ gross, er kam also dem kleinsteu Gesichtswinkel gleich, unter welchem solche Objecte nach unserer Tab. II. auch bei kleiner Entfernung sichtbar sind. Es ist

Digitized by Google

aber diese Beobachtung dadurch von noch grösserem Gewichte, weil sie Gegenstände betraf, die in der Luft, also auf einem erleuchteten Hintergrunde, befindlich waren, so dass hier also kein durch Irradiation bedingter Irrthum zu besorgen stand.

Dürfte man das Sichtbarsein sehr stark erhellter Objecte als den Maassstab für den Gesichtswinkel benutzen, so würde man anzunehmen haben, dass dieser Gesichtswinkel bei kugelförmigen Körpern auch noch viel kleiner sein kann. Nach Mädler (*Populäre Astronomie* S. 273) sollen die Otahaitier den Uranus, der einen scheinbaren Durchmesser von 3,9″ hat, schon lange vor Herschel gekannt haben, und nach Musschenbroek (*Introd. ad phil. naturae, II, p. 773*) sollen die Jupitersmonde, deren grösster einen scheinbaren Durchmesser von 1,5″ hat, von Manchen mit blossen Augen gesehen worden sein. Auch erzählt von Humboldt (*Kosmos* III, S. 113), dass er einen Schneider in Breslau kannte, der die Jupitersmonde bei sehr heiterem Himmel deutlich sah. In einem Briefe an Sir John F. W. Herschel (*American Journal of Sc. and Arts*, 1855. *March*, *p.* 273) berichtet ein amerikanischer Missionair, D. T. Stoddard, der zu Orumieh in Persien sich aufhält, dass er in diesem so günstigen Klima nicht allein die Jupitersmonde mit blossem Auge zu sehen vermag, sondern selbst den Ring des Saturn und die Lichtphasen der Venus erkennen kann. Auch einige Doppelsterne, z. B. 4 und 5 ε Lyrae, α Librae, δ Cephei (diesen jedoch nur zweifelhaft) vermochte er ohne Teleskop als solche zu unterscheiden. Sind diese Angaben auch wahrheitsgetreu, so können derartige Beobachtungen hier doch nicht in Betracht kommen, weil das Bild aller sehr erhellter Körper in Folge der Irradiation auf der Netzhaut sich viel grösser darstellt, als es wirklich ist, so dass ein Fixstern, dessen scheinbarer Durchmesser unendlich klein ist, doch noch ein Bildchen hervorbringt.

85 Kehren wir nun wieder zu den in den Tabellen verzeichneten Beobachtungen zurück, so finden wir, dass zwar der Gesichtswinkel, unter welchem Objecte noch sichtbar sind, nach Maassgabe der zunehmenden Entfernung grösser wird, dass aber auch bei manchen Beobachtern der Gesichtswinkel, nachdem das Minimum erreicht worden ist, wiederum ein grösserer wird beim Betrachten kleinerer Objecte. Dies steht mit einer anderen Wahrnehmung im Zusammenhange, dass nämlich ein Myope (*A*) sehr kleine Objecte (Tab. I, Nr. 13 u. 14. Tab. II, Nr. 13 bis 16) noch in einer grösseren Entfernung zu sehen im Stande ist, als andere (*B*, *C*, *D*), die nicht myopisch sind. Diese auf den ersten Blick einander widersprechenden Thatsachen lassen sich meines Erachtens so erklären, dass das Accommodationsvermögen nicht eigentlich dahin wirkt, das Auge in einen Zustand zu versetzen, wobei das Bild genau und scharf auf die Netzhaut fällt, sondern nur jenen Zustand herbeiführt, wobei das

Object am besten wahrgenommen wird. Es kann also ein Object so klein sein, dass ein vollkommen scharfes Bild desselben keinen Eindruck auf die Netzhaut zu machen vermag, und wenn man es dem Auge soweit nähert, dass sein eigentliches Bildchen etwas hinter die Netzhaut kommt, kann die letztere durch ein Bündel convergirender Strahlen, dessen Durchschnitt das Bildchen an Grösse übertrifft, dergestalt getroffen werden, dass noch ein Eindruck dadurch zu Stande kommt. So kann also ein Object doch noch gesehen werden, dessen scharfes Netzhautbildchen wegen seiner Kleinheit nicht mehr wahrnehmbar ist.

Es erklärt sich hieraus auch noch eine andere Erscheinung, die ein 86
jeder bei derartigen Beobachtungen an sich selbst wahrnehmen kann. Ist nämlich der Blick auf einen Gegenstand gerichtet, der klein genug ist, dass die Sichtbarkeitsdistanz noch innerhalb der Grenzen des Accommodationsvermögens liegt, und entfernt man sich langsam von diesem Gegenstande, dann verschwindet derselbe nicht auf einmal aus dem Gesichte, sondern vor dem Verschwinden wird er erst breiter und nebelartig, d. h. er erzeugt ein Diffusionsbild auf der Netzhaut. Da dies nun schon in einer Entfernung geschieht, bei welcher sich noch ein vollkommen scharfes Bild grösserer Gegenstände auf der Netzhaut bilden kann, so erkennt man hieraus wiederum deutlich, dass das Auge den empfangenen Eindruck gleichsam festzuhalten sucht, indem es den Vereinigungspunkt der Strahlen etwas verrückt, und dass die grössere Extension des alsdann entstehenden Diffusionsbildes doch noch einen Eindruck ermöglicht, obwohl in der Empfänglichkeit der Netzhaut für das vollkommen scharfe aber kleinere Bildchen bereits die äusserste Grenze erreicht wurde. Durch diese Wahrnehmungen lernen wir eine beachtenswerthe Eigenthümlichkeit in der Benutzung des blossen Auges zum Sehen kennen, für die wir weiterhin in der mikroskopischen Wahrnehmung eine Bestätigung finden werden.

Angenommen, das Bildchen liegt in dem Augenblicke, wo der Ge- 87
sichtswinkel am kleinsten ist, genau auf der Netzhaut, so wird man aus der bekannten Grösse des Objectes, aus dessen Entfernung vom Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen und aus des letzteren Entfernung von der Netzhaut leicht die Grösse des kleinsten noch sichtbaren Netzhautbildchens berechnen können, und zwar durch ein einfaches Regeldetri-Exempel, wie man aus Fig. 45 (S. 54) ersieht. Der Durchmesser des Netzhautbildchens nämlich ist $= \frac{de}{a+b}$, wo a die Entfernung des Auges vom Objecte, b die Distanz des Kreuzungspunktes von der Hornhaut, e die Distanz des Kreuzungspunktes von der Netzhaut und d den Durchmesser des Objectes bezeichnet. Solche Berechnungen haben Hueck (Müller's *Archiv* 1840, S. 86), Valentin (*Lehrb. d. Phys.* II, S. 427), Volkmann (*Neue Bei-*

träge zur Phys. des Gesichtssinnes, S. 202, u. Wagner's *Handwörterbuch*, Art. Sehen, S. 333 — 335) nnd Andere ausgeführt, und durch Vergleichung des gefundenen Durchmessers mit den die Netzhaut zusammensetzenden Elementen stellte sich heraus, dass die kleinsten wahrnehmbaren Netzhautbildchen viel kleiner sein können, als diese Netzhautelemente.

Aus einigen Daten in den Tabellen sind folgende Durchmesser der entsprechenden Netzhantbildchen nach dieser Methode berechnet, wobei der Abstand des Kreuznngspunktes von der Netzhaut im Mittel zu 14 Millimeter angenommen worden ist.

	Durchmesser des Objectes in Mmm.	Durchmesser des Netzhautbildchens in Mmm.
Tabelle I. *A.* Nr. 18 *g*	27,5	1,58 = $^1/_{635}$ mm
„ I. *A.* „ 18 *e*	27,5	1,89 = $^1/_{530}$
„ I. *B.* „ 10	79	2,03 = $^1/_{490}$
„ I. *B.* „ 15	40	2,64 = $^1/_{380}$
„ I. *C.* „ 12	55,5	1,62 = $^1/_{620}$
„ I. *C.* „ 13	46,5	2,59 = $^1/_{390}$
„ I. *C.* „ 14	41	3,30 = $^1/_{300}$
„ I. *C.* „ 15	40	4,67 = $^1/_{214}$
„ I. *C.* „ 16	37,5	5,00 = $^1/_{200}$
„ II. *A.* „ 16	2,1	0.15 = $^1/_{6666}$
„ II. *Ab.* „ 13	13,7	0,21 = $^1/_{4800}$
„ II. *B.* „ 10	25,3	0,16 = $^1/_{6250}$
„ II. *B.* „ 13	13,7	0,59 = $^1/_{1550}$
„ II. *B.* „ 14	13,0	0,66 = $^1/_{1500}$

Aus dem früher Mitgetheilten ergiebt sich aber, dass dergleichen Berechnungen niemals genau sein können: denn erstens ist der Abstand des Kreuzungspunktes nicht ganz gleich für alle Augen und derselbe unterliegt ausserdem durch die Wirkung des Accommodationsvermögens nothwendiger Weise einer Stellverrückung, zweitens aber muss die Annahme, dass das Bildchen sich genau auf der Netzhaut befand, nach den vorgängigen Bemerkungen in allen jenen Fällen, wo die Rechnung vorgenommen wurde, als eine unrichtige angesehen werden.

Auch würde ich es für überflüssig erachtet haben, diese Ergebnisse hier anfzuzeichnen, wäre nicht gerade aus deren Vergleichung unter ein-

ander zu entnehmen, dass die Basis, worauf die Berechnung beruht, unmöglich eine genaue sein kann. Bei *B* und *C* wird man nämlich bemerken, dass nicht die kleinsten sogenannten Netzhautbildchen eine etwa gleiche Grösse haben, vielmehr gerade die allerkleinsten Objecte (Tab. I, Nr. 13, 14. Tab. II, Nr. 13 bis 16) immer grössere und grössere Bildchen erzeugt haben. Dies erklärt sich nun sehr einfach aus dem bereits Angeführten, dass die Stelle des wahren Bildchens solcher sehr kleinen Objecte sich eigentlich hinter der Netzhaut befindet. Der gefundene Durchmesser ist also nicht jener des Bildes, sondern des durch das convergirende Strahlenbündel getroffenen Netzhautabschnitts, und das sind wirklich die alleinigen Fälle, wo man die Grösse des den Eindruck aufnehmenden Netzhauttheils mit Sicherheit berechnen kann, vorausgesetzt nämlich, dass man die Stelle des Kreuzungspunktes genau kennt.

Dann ergiebt sich aber, dass der Durchmesser jenes Netzhauttheils, welcher den Eindruck aufnimmt, vom Durchmesser der Elementartheile der Netzhaut nicht so sehr abweicht, als Viele glauben. Die Nervenfasern der Netzhaut sind $^{1}/_{1000}$ bis $^{1}/_{500}$ mm dick, und die dahinter liegenden stabförmigen Körper, die doch mit den Nervenfasern zusammenhängen, sind noch etwas dicker.

Angenommen übrigens, dass jener Netzhauttheil, welcher den Eindruck empfängt und fortleitet, kleiner sein kann, als der Durchmesser 88
seiner Nervenfasern, so liegt etwas Unwahrscheinliches darin, dass eine einzelne Faser, welche zwei oder mehr verschiedene Eindrücke empfängt, dieselben auch isolirt zum Bewusstsein sollte bringen können. So gelangen wir denn zur Frage nach den Grenzen des Unterscheidungsvermögens des Auges.

Offenbar müssen diese Grenzen von jenen des eigentlichen Sichtbarseins verschieden sein. Entsteht von einem Objecte ein Diffusionsbildchen, so wird das Object doch noch wahrnehmbar sein können, wenn auch jenes Bildchen ziemlich breit geworden ist. Treten dagegen zwei solche Diffusionsbildchen auf der Netzhaut auf, so fliessen diese schnell zusammen, und man glaubt nur ein einzelnes Object zu sehen.

Deshalb machte es sich nöthig, auch hier die für verschiedene Augen bestehenden Grenzen aufzusuchen, und dies ist in zwei Beobachtungsreihen geschehen, die in der nachstehenden dritten Tabelle verzeichnet sind. Zur ersten Reihe dienten verschiedene Sorten eines Messingdrahtgeflechtes, das ganz matt, ohne den mindesten Glanz war. Auch bei diesen Versuchen wurde dem durchfallenden Lichte einer Argand'schen Lampe der Vorzug gegeben, und im Ganzen wurde auf dieselbe Weise verfahren, wie es weiter oben (§. 77) für die Bestimmung der Sichtbarkeitsentfernung angegeben worden ist.

Digitized by Google

Dritte Tabelle.

Unterscheidbarkeit der Gesichtseindrücke.

a. Grenzen der Wahrnehmbarkeit der Maschen eines Messingdrahtgeflechts.

	Nro. 1. Auf 1 □Centimeter 67,2 Maschen; Durchmesser der Maschen 917 Mmm.; Dicke des Drahts 279 Mmm.			Nro. 2. Auf 1 □Centimeter 190,4 Maschen; Durchmesser der Maschen 489 Mmm.; Dicke des Drahts 227 Mmm.			Nro. 3. Auf 1 □Centimeter 338,6 Maschen; Durchmesser der Maschen 255 Mmm.; Dicke des Drahts 194 Mmm.			Nro. 4. Auf 1 □Centimeter 1022,3 Maschen; Durchmesser der Maschen 250 Mmm. *); Dicke des Drahts 91 Mmm. **).		
	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel der Maschen.	Gesichtswinkel des Drahts.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel der Maschen.	Gesichtswinkel des Drahts.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel der Maschen.	Gesichtswinkel des Drahts.	Entfernung des Auges.	Gesichtswinkel der Maschen.	Gesichtswinkel des Drahts.
A mit 0,162 Meter mittlerer Sehweite . . .	1,065	177,5″	54,0″	0,922	108,2″	50,3″	0,664	78,1″	59,4″	0,466	108,0″	39,5″
Ab mit 0,400 Meter mittlerer Sehweite . . .	2,275	82,8″	25,2″	2,087	48,1″	22,3″	1,340	38,9″	29,7″	0,935	54,5″	19,9″
B mit 0,372 Meter mittlerer Sehweite . . .	2,536	74,6″	22,6″	2,334	43,3″	20,0″	1,589	32,9″	25,1″	1,100	42,9″	16,9″
C mit 0,304 Meter mittlerer Sehweite . . .	2,995	63,0″	19,2″	2,372	42,4″	19,7″	1,840	28,5″	21,1″	1,742	29,5″	10,7″
D mit 0,273 Meter mittlerer Sehweite . . .	1,835	102,9″	31,2″	1,695	59,4″	27,6″	1,235	42,3″	32,2″	0,698	72,7″	26,5″

*) Die Maschen hatten hier in der einen Richtung 240 Mmm., in der anderen 260 Mmm. Die Maschen der übrigen Drahtgeflechte waren genau quadratisch.

**) Ueber die Srenzen der Sichtbarkeit der vier Drahtsorten siehe oben Tabelle II, Nro. 1 bis 4.

b. Grenzen der Unterscheidbarkeit zweier Mikrometerfäden *).

Nro.	Entfernung des Auges von den Fäden in Metern.	A		Ab		B		C		D		Allgemeine Grösse des Gesichtswinkels jedes Fadens.
		Entfernung beider Fäden in Mmm.	Gesichtswinkel.	Entfernung beider Fäden in Mmm.	Gesichtswinkel.	Entfernung beider Fäden in Mmm.	Gesichtswinkel.	Entfernung beider Fäden in Mmm.	Gesichtswinkel.	Entfernung beider Fäden in Mmm.	Gesichtswinkel.	
1.	0,080	85	195″	—	—	—	—	—	—	—	—	21,8″
2.	0,100	52	98″	—	—	—	—	—	—	—	—	17,8″
3.	0,160	54	70″	—	—	—	—	—	—	—	—	11,6″
4.	0,200	87	86″	146	143″	74	72″	133	131″	—	—	9,4″
5.	0,250	147	115″	183	145″	87	69″	159	126″	—	—	7,5″
6.	0,300	—	—	—	—	—	—	—	—	158	105″	6,4″
7.	0,350	252	144″	211	122″	—	—	251	143″	—	—	5,4″
8.	0,400	—	—	—	—	133	67″	—	—	—	—	4,7″
9.	0,450	—	—	404	81″	—	—	267	120″	—	—	4.2″
10.	0,500	—	—	—	—	187	76″	331	134″	—	—	3,8″
11.	0,600	—	—	—	—	—	—	396	134″	—	—	3,2″

*) Ueber die Grenzen der Sichtbarkeit des einzelnen Fadens siehe oben Tabelle II, Nro. 15.

Vergleicht man die Nummern dieser Tabelle unter einander sowie mit Nr. 1 bis 4 der zweiten Tabelle, wo die Sichtbarkeitsentfernungen der einzeln gesehenen Drähte des Geflechts verzeichnet sind, so stellt sich Folgendes heraus.

Die Sichtbarkeitsentfernungen und die davon bedingten Gesichtswinkel differiren in diesen beiden Fällen bei den verschiedenen Beobachtern, aber nicht gleichmässig bei allen. Bei A war diese Verschiedenheit wenig hervortretend, während dagegen B die isolirten Drähte noch in einer dreimal grösseren Entfernung sah, als die Maschen des daraus verfertigten Geflechts. Die Fähigkeit, das Einzelne wahrzunehmen, geht also durchaus nicht gleichen Schritt mit der Unterscheidbarkeit der Gesichtseindrücke.

Sodann ersieht man, dass die Unterscheidbarkeit der Maschen eben so sehr von der Dicke der begrenzenden Drähte abhängig ist, als von der Grösse der Interstitien. In Tab. III. a. unterscheiden sich die Drähte bei Nr. 1 und Nr. 2 nur wenig in der Dicke, das Interstitium aber ist bei Nr. 2 fast nur halb so gross als bei Nr. 1; dennoch ist die Unterscheidbarkeitsdistanz ziemlich die nämliche für beiderlei Geflechte. Umgekehrt verhält es sich bei Nr. 3 und Nr. 4: die Interstitien unterscheiden sich kaum von einander, der Draht von Nr. 3 ist aber doppelt so dick als jener von Nr. 4, und die Unterscheidbarkeitsdistanz von Nr. 4 ist eine viel kleinere.

Diese Beispiele thun auf eine überzeugende Weise dar, dass auf die Unterscheidbarkeit verschiedener Gesichtseindrücke zwei Umstände von Einfluss sind, nämlich der interstitielle Zwischenraum der Objecte und die Grösse der letzteren; es hängt davon die Grösse des Netzhautbildchens ab. Zur Verdeutlichung lasse ich hier die berechneten Netzhautbildchen folgen, die in diesem Falle nicht so sehr von der wahren Grösse abweichen können, als wenn sie aus der Sichtbarkeitsdistanz berechnet werden, weil die Diffusion hier natürlich einen weit geringeren Einfluss übt. Die Netzhautbilder der Drähte und ihrer Interstitien sind auf Tausendtheile des Millimeters berechnet.

Nro.	A		Ab		B		C		D	
	Draht.	Interstitium.	Draht.	Interstitium.	Draht.	Interstitium.	Draht.	Interstitium.	Draht.	Interstitium.
1	3,72	12,50	1,78	5,68	1,54	5,05	1,30	4,35	2,12	6,96
2	3,42	7,36	1,54	3,28	1,36	2,93	1,34	2,88	1,90	4,10
3	4,06	5,31	2,02	2,68	1,71	2,25	1,48	1,95	2,19	2,90
4	2,71	7,45	1,25	3,72	1,15	3,15	0,73	2,00	1,82	5,00

Bei Nr. 1 und 2 sind die Netzhautbildchen der Drähte einander immer ziemlich gleich, während die Interstitien bei Nr. 2 fast nur halb so gross sind wie bei Nr. 1. Hier bestimmt also die Grösse der verschiedenen Eindrücke selbst deren Unterscheidbarkeit, ihre verschiedenen Interstitien auf der Netzhaut dagegen üben nur einen verhältnissmässig geringen Einfluss darauf aus.

Dagegen übt bei Nr. 3 und 4 jener Eindruck auf die Netzhaut, welcher von der Verschiedenheit der Interstitien ausgeht, einen überwiegenden Einfluss. Sind die Bildchen von den Drähten grösser, dann ist auch das Interstitium kleiner, und umgekehrt.

Zugleich ist auch aus diesen Daten zu entnehmen, dass das Interstitium auf der Netzhaut, welches nöthig ist, wenn zwei Eindrücke gesondert wahrgenommen werden sollen, den Elementartheilen der Netzhaut an Grösse nicht nachsteht. Das kleinste Interstitium, welches hier vorkommt, ist 1,95 Mmm. oder $^{1}/_{513}{}^{mm}$, was ungefähr dem Durchmesser der dicksten Netzhautfasern entspricht.

Durch den gegenseitigen Einfluss, den die Dicke der Objecte und 89
deren verschiedene Interstitien auf die Unterscheidbarkeit der Gesichtseindrücke ausüben, wird die Frage nach den Grenzen dieser Unterscheidbarkeit viel zusammengesetzter, als sie sein würde, wenn es allein auf den interstitiellen Zwischenraum ankäme. Aus diesem Grunde haben auch die Ergebnisse einer anderen Reihe von Beobachtungen, von denen ich zuerst erwartete, dass sie in Betreff der Unterscheidbarkeit einen festen Anhaltspunkt abgeben würden, diesem Zwecke nicht entsprechen können. Diese Beobachtungen wurden nämlich mittelst eines sehr genauen Ocularschraubenmikrometers ausgeführt, worin sich zwei ganz parallele Fäden von $^{1}/_{105}{}^{mm}$ Dicke befanden, deren einer fest stand, während der andere durch eine Schraube verrückbar war. Das Zeigerblatt der Schraube war in Grade eingetheilt, und auf jeden Grad kam $^{1}/_{229}{}^{mm}$. Wurde dieser Apparat an ein Rohr befestigt, das sich verlängern liess, so liess sich mit grosser Genauigkeit das Interstitium abmessen, bei dem die Fäden noch doppelt gesehen wurden. Die verschiedenen Beobachtungen differirten selten mehr als um 1 oder 2 Grade, und da immer 3 bis 5 Beobachtungen angestellt wurden, so sind die erhaltenen Mittelwerthe als sehr genaue anzusehen. In Tab. III. b. (S. 73) habe ich die erhaltenen Resultate zusammengestellt. Die Sichtbarkeitsdistanz des einzelnen Fadens ist in Tab. II. Nr. 15 angegeben.

Dass die Fähigkeit der Unterscheidung in unmittelbarem Zusammenhange mit den beiden Grenzen des Accommodationsvermögens steht, ersieht man sogleich aus der Tabelle, namentlich bei *A*, dessen Accommodationsvermögen in die engsten Grenzen eingeschlossen ist. Ueberdies ist auch das Interstitium, welches die Fäden für die verschiedenen Beobachter bei gleicher Entfernung der Augen haben mussten, wenn sie dop-

Digitized by Google

pelt gesehen wurden, nicht das nämliche, wenn auch diese Entfernung, wie bei Nr. 4, noch ganz innerhalb der Grenzen des Accommodationsvermögens aller Beobachter liegt. Diese Verschiedenheit kann natürlich von mancherlei Umständen im individuellen Zustande des einzelnen Auges herrühren. Dass man aber dabei nicht blos an eine verschiedenartige Empfänglichkeit der Netzhaut für die Unterscheidung von Eindrücken zu denken hat, ergiebt sich wohl deutlich aus einer Vergleichung der von *A* und von *Ab* erlangten Resultate.

Vergleicht man ferner die Resultate dieser Versuche mit den früheren, so bestätigt sich wiederum die Wahrheit des schon ausgesprochenen Satzes, dass die Unterscheidbarkeit zweier Eindrücke nicht blos deren Interstitium, sondern auch von der Ausbreitung der Eindrücke selbst abhängig ist. Bei *C* z. B. mussten bei 0,350 Meter Augenentfernung die Fäden 251 Mmm. von einander entfernt sein, damit sie unterschieden werden konnten. Bei einem Messingdrahtgeflechte, dessen Maschen 250 Mmm. gross waren, dessen Drähte aber eine zehnmal grössere Dicke hatten als die Mikrometerfäden, konnte er das Auge bis auf 1,742 Meter, d. h. also fünfmal weiter entfernen, bevor die Grenzen der Unterscheidbarkeit erreicht waren.

Hieraus lässt sich aber schon entnehmen, dass es nicht möglich ist, aus diesen Beobachtungen auf die genauen Grenzen der Unterscheidbarkeit einen Schluss zu ziehen. Das kleinste Interstitium der Fäden, wobei *A* dieselben noch doppelt wahrnehmen konnte, war 52 Mmm. oder $^1/_{19}{}^{mm}$, und dies entspricht einem Interstitium von 4,44 Mmm. oder $^1/_{225}{}^{mm}$ zwischen den Bildern der Fäden auf der Netzhaut. Für *B* betrug dieses Interstitium 74 Mmm. oder $^1/_{13,5}{}^{mm}$, und im Netzhautbildchen 4,54 Mmm. oder $^1/_{220}{}^{mm}$. In allen anderen Fällen war der Zwischenraum der Fäden sowohl als jener der Netzhautbildchen ein grösserer. Weiter oben haben wir aber gesehen, dass die kleinsten Interstitien der Netzhautbilder eines Messingdrahtgeflechtes um mehr als die Hälfte kleiner sind. Wenn daher statt der sehr dünnen Mikrometerfäden Messingdraht oder ein anderer Draht von etwas grösserem Durchmesser angewendet werden könnte, was jedoch in einem solchen Apparate nicht ausführbar ist, weil dickere Fäden in verschiedene Flächen übergreifen, so würde man sicherlich finden, dass die Grenze für die Unterscheidbarkeit höchstens auf die Hälfte der gefundenen Entfernung veranschlagt werden muss. *A* würde dann noch ein Interstitium von $^1/_{40}{}^{mm}$, *B* ein solches von $^1/_{27}{}^{mm}$ zwischen zwei Objecten wahrnehmen können, und es ist nicht unwahrscheinlich, dass die Fähigkeit der Unterscheidbarkeit unter günstigen Umständen noch viel weiter geht. Denn wenn die beiden Objecte eine ansehnlichere Dicke haben, dann nimmt das Interstitium mehr und mehr den Charakter einer Spalte an, die sich bei durchfallendem Lichte wie ein weisser Streifen auf einem schwarzen Grunde ausnimmt, und ein solcher Streifen kann wenig-

Digitized by Google

stens eben so dünn sein, als ein schwarzer Streifen auf weissem Grunde, bevor er unsichtbar wird, wie aus den mehrmals erwähnten Beobachtungen Hueck's mit Sicherheit sich herausstellt.

Aus allem folgt, dass für die Unterscheidbarkeit der Objecte sich nicht in gleicher Weise, wie für deren Sichtbarkeit, bestimmte Grenzen angeben lassen, dass vielmehr diese Grenzen je nach Art und Grösse der die Gesichtseindrücke hervorrufenden Objecte veränderlich sind.

Wenn auch durch die mitgetheilten Versuche die Frage über den 90
kleinsten Gesichtswinkel, unter welchem verschiedene Objecte noch wahrnehmbar sind, genügend beantwortet zu sein scheint, so war es doch wünschenswerth, auch durch directe Beobachtungen festzustellen, welche kleinste Gegenstände, Interstitien u. s. w. das Auge noch zu unterscheiden vermag, wenn es sich in einer bestimmten Entfernung davon befindet. Nur dadurch wurde es möglich, das optische Vermögen des Auges mit jenem des Mikroskopes zu vergleichen. Da nun wirkliche Objecte sich nicht allmälig und stufenweise so verkleinern lassen, dass sie zuletzt ganz unsichtbar werden, so entschloss ich mich, ein anderes Verfahren einzuschlagen, das auch, wie sich später zeigen wird, noch den Vortheil bietet, vollständig auf das Mikroskop angewendet werden zu können.

Dieses Verfahren besteht darin, dass man statt der Objecte selbst nur deren dioptrische Bilder benutzt. Um solche für den vorliegenden Zweck zu erzeugen, habe ich aplanatische Linsensysteme benutzt; wo aber deren Brennweite noch zu gross war, als dass das kleinste sichtbare Bild hätte entstehen können, ohne das Object zu weit zu entfernen, da benutzte ich ganz kleine Glaskügelchen von $^1/_2$ bis $^1/_{10}{}^{mm}$ Durchmesser, die in Platinblech eingeschmolzen und nach Art einer gewöhnlichen Linse in ein Messingröhrchen gefasst waren. Ich füge nur noch hinzu, dass die benutzten Glaskügelchen, die als Vergrösserungsgläser in einem einfachen Mikroskope dienten, ein ganz scharfes Bild geben, das jenem durch ein aplanatisches zusammengesetztes Mikroskop von gleicher Vergrösserung hervorgebrachten Bilde kaum nachsteht.

Das Linsensystem oder das Glaskügelchen kam in die Oeffnung des Objecttisches eines gewöhnlichen zusammengesetzten Mikroskopes, das Object aber auf einen darunter befindlichen Ring, der sich auf und nieder bewegen liess. Hierauf wurden die Gläser aus dem Rohre des Mikroskopes genommen und das Auge wurde durch das jetzt ganz leere Rohr nach dem Bilde gerichtet, dieses aber immer kleiner und kleiner gemacht, indem der Ring mit dem darauf liegenden Objecte weiter und weiter rückte. War die Grenze der Sichtbarkeit erreicht, dann kam wieder ein Ocular- und ein Objectivglas an das Mikroskoprohr, und mittelst eines Ocularschraubenmikrometers wurde jetzt der Durchmesser des Bildes ganz so gemessen, als wäre es ein wirkliches Object. Künstliches Licht,

Digitized by Google

wie bei den früheren Beobachtnngen, war hier nicht anwendbar, weil dessen Intensität in gleichem Verhältnisse mit der Grösse des Objectes abnimmt, das Gesichtsfeld also nicht gehörig erleuchtet wird. Alle Beobachtungen sind deshalb bei Tageslicht angestellt worden, und zwar, wenn nicht das Gegentheil ausdrücklich angegeben wird, in der Weise, dass der flache Spiegel dem so viel möglich gleichmässig hell bewölkten Himmel zugekehrt wurde.

Jene Gesichtseindrücke, wo das Netzhautbildchen kein wahres Bild, sondern ein Schattenbild auf einem erleuchteten Gesichtsfelde ist, wollen wir weiterhin **negative** nennen, im Gegensatz zu den **positiven**, wo die Netzhaut ein wahres Lichtbild empfängt, das sich auf einem dunkeln Gesichtsfelde abzeichnet.

Dass es bei Bestimmung der Grenzen des Sehvermögens von Wichtigkeit ist, diesen Unterschied im Auge zu behalten, ergiebt sich schon aus den früher mitgetheilten Beobachtungen sowie aus dem, was über die Irradiation gesagt worden ist. Bei positiven Gesichtseindrücken wird das eigentliche Netzhautbildchen nach auswärts sich ausbreiten, und somit wird es zu einer Vergrösserung desselben kommen. Gerade das Umgekehrte wird bei negativen Gesichtseindrücken stattfinden, nämlich das Lichtbild des Gesichtsfeldes auf der Netzhaut wird sich über das Schattenbild des Objectes nach einwärts ausbreiten, und folglich wird dieses Schattenbild kleiner und weniger wahrnehmbar werden.

91 Für mein rechtes Auge, dessen mittlere Sehweite nach den mit dem Optometer vorgenommenen Messungen (§. 66) 162^{mm} beträgt, und dessen Accommodationsvermögen (§. 68) derart ist, dass es alle Objecte scharf sieht, die sich in einer Entfernung von 100 bis 270^{mm} von der Hornhaut befinden, erhielt ich folgende Resultate:

Negative Gesichtseindrücke.

Entfernung des Auges in Millimetern.		Durchmesser des kleinsten noch sichtbaren Bildes in Mmm.	Kleinster Gesichtswinkel.
Runde Objecte.	130	28,5 = $^{1}/_{35}$ mm	42,0″
	170	34,6 = $^{1}/_{28,9}$	39,7
	200	44,2 = $^{1}/_{22,6}$	43,5
	250	50,5 = $^{1}/_{19,8}$	40,1
Fadenförmige Objecte.	130	2,45 = $^{1}/_{408}$	3,6
	170	3,27 = $^{1}/_{306}$	3,7
	250	4,80 = $^{1}/_{209}$	3,8

Bevor aus diesen und den folgenden Resultaten Schlüsse gezogen werden dürfen, muss erst untersucht werden, in wie weit für dioptrische Bilder und für Bilder wahrer Objecte die Grenzen der Sichtbarkeit übereinstimmen. Die Resultate der in Tab. I. und Tab. II. verzeichneten Beobachtungen lassen sich dafür nicht ohne Weiteres benutzen, weil dort nur künstliches Licht in Anwendung kam. Ich habe deshalb auch einige Beobachtungen beim Lichte eines weiss bewölkten Himmels angestellt und dazu solche kugelförmige Objecte gewählt (Nr. 13, 15, 16, 17 und 18 der kugelförmigen im §. 76 verzeichneten Objecte), deren Sichtbarkeit noch ganz innerhalb der Grenzen des Accommodationsvermögens meines Auges gelegen ist. Die Beobachtung wurde übrigens ganz in der früher erwähnten Weise ausgeführt.

Durchmesser des Objectes in Mmm.	Sichtbarkeit bei einer Entfernung des Auges von	Gesichtswinkel.
46,5 = $^1/_{21,5}$mm	218mm	42,1″
40,0 = $^1/_{25}$	205	38,4
37,5 = $^1/_{27}$	187	39,4
32,0 = $^1/_{31,3}$	165	37,7
26,5 = $^1/_{36,4}$	142	37,4

Vergleicht man die Grösse der Gesichtswinkel in dem einen und dem anderen Falle, so sieht man, dass es in Betreff der Sichtbarkeit nur wenig Unterschied macht, ob man dioptrische Bilder oder wirkliche Objecte betrachtet. Trotz alle dem besteht aber, wie zu erwarten, doch noch ein Unterschied, weil ein dioptrisches Bild, auch wenn es durch ein ausgezeichnetes aplanatisches Linsensystem erhalten wurde, doch immer noch einigermaassen den Einfluss der beiderlei Aberrationen zeigen muss. Der mittlere kleinste Gesichtswinkel der kugelrunden Objecte misst bei der genannten Beleuchtung 39″, dagegen 41,3″ bei den dioptrischen Bildern dieser nämlichen Objecte. Die Sichtbarkeit der letzteren verhält sich also zu jener der ersteren wie 1 : 0,95. Ist auch diese Proportion wegen der zu geringen Anzahl von Beobachtungen nicht als eine ganz genaue anzusehen, so ist sie doch ausreichend, um darzuthun, dass, wenn man an der Grenze der Sichtbarkeit eines solchen Bildes angekommen ist, man sich auch der Sichtbarkeitsgrenze eines wirklichen Objectes von gleicher Grösse nahe befindet.

Digitized by Google

92 Um die Grenzen der Sichtbarkeit positiver Gesichtseindrücke zu bestimmen, dienten geschwärzte kupferne Plättchen, die entweder mit einer runden Oeffnung oder mit einem Spalte versehen waren. Dabei wurde alles von aussen kommende Licht sorgfältig abgehalten durch zweckmässig angebrachte Futterale und dadurch, dass ein Tuch über den Kopf gehängt wurde. Sonst wurde bei der Bestimmung auf die nämliche Weise verfahren, wie oben angegeben worden ist.

Positive Gesichtseindrücke.

	Entfernung des Auges in Millimetern.	Durchmesser des kleinsten noch sichtbaren Bildes in Mmm.	Kleinster Gesichtswinkel.	Das durch die Oeffnung fallende Licht.
Runde Oeffnung.	170	8,10 = $\frac{1}{24}$ mm	9,29″	Dunkel bewölkter Himmel.
	195	1,08 = $\frac{1}{929}$	1,08	Glänzend weisse Wolke.
	250	11,90 = $\frac{1}{84}$	9,46	Dunkel bewölkter Himmel.
	278	0,88 = $\frac{1}{1137}$	0,89	Starkes Sonnenlicht.
Spalt.	160	0,230 = $\frac{1}{4359}$	0,28	Grauer Himmel.
	160	0,096 = $\frac{1}{10438}$	0,15	Starkes Sonnenlicht.

Hier macht sich sogleich eine grosse Verschiedenheit bemerklich je nach der Art des durch die Oeffnung fallenden Lichtes. Das Bild einer Oeffnung, durch welche Sonnenlicht geht, wird noch unter einem 11 Male kleineren Gesichtswinkel gesehen, als das einer Oeffnung, welche dem dunkel bewölkten Himmel zugekehrt ist; die Oeffnung kann also 11 Male kleiner sein und ist doch noch sichtbar.

Sodann ersieht man deutlich, wie sehr positive und negative Gesichtseindrücke in Betreff der Sichtbarkeit sich von einander unterscheiden. Der Gesichtswinkel, unter welchem eine Oeffnung beim schwachen Lichte eines dunkel bewölkten Himmels noch sichtbar ist, kann 4 bis 5 Male kleiner sein, als jener eines undurchsichtigen Objectes auf einem erhellten Grunde. Sobald aber Sonnenlicht durch die Oeffnung geht, kann der Gesichtswinkel 50 Male kleiner sein.

Es folgt aus diesen Beobachtungen, dass bei negativen Gesichtseindrücken die Sichtbarkeit grösstentheils von der Grösse und der Entfernung des Objectes abhängig ist, von dem der Eindruck erzeugt wird, bei positiven Gesichtseindrücken dagegen diese Grösse und Entfernung nur wenig in Betracht kommen, vielmehr die Intensität des vom Objecte aus-

gehenden Lichts die Sichtbarkeit vorzugsweise bestimmt. Es kann daher auch nicht Wunder nehmen, dass Sterne, die einen Gesichtswinkel von weniger als 1″ haben, am Himmel sichtbar sind, da ja auch eine Oeffnung, wodurch Sonnenlicht geht, unter einem merklich kleineren Winkel noch sichtbar ist.

Nach dieser Methode lässt sich auch die Unterscheidbarkeit der 93
Gesichtseindrücke bestimmen. Zu diesem Zwecke wurde ein Messingdrahtgeflecht benutzt, woran die Dicke des Drahts zum Interstitium sich wie 1 : 1,58 verhielt, daneben aber ein geschwärztes Plättchen mit zwei gleich grossen runden Oeffnungen, deren Interstitium genau doppelt so gross war als die einzelne Oeffnung.

a. Unterscheidbarkeit der Maschen eines Drahtgeflechts.

Entfernung des Auges.	Durchmesser des noch sichtbaren Bildes in Mmm.		Kleinster Gesichtswinkel der	
	Drähte.	Interstitium.	Drähte.	Interstit.
170mm	26,2 = $1/_{38,2}$mm	41,4 = $1/_{24,1}$mm	30,0″	47,4″
250	38,3 = $1/_{26,1}$	60,5 = $1/_{16,5}$	30,4	48,0

b. Unterscheidbarkeit zweier runder Oeffnungen.

Entfernung des Auges.	Durchmesser des noch sichtbaren Bildes in Mmm.		Kleinster Gesichtswinkel der	
	Oeffnungen.	Interstitium.	Oeffnungen.	Interstit.
170mm	53,8 = $1/_{18,6}$mm	107,6 = $1/_{9,3}$mm	61,7″	123,4″
250	74,6 = $1/_{13,4}$	149,3 = $1/_{6,7}$	59,2	118,4

Aus diesen Beobachtungen darf man schliessen, dass, wenn positive und negative Gesichtseindrücke mit einander abwechseln, ohne dass die eine oder die andere Art ein entschiedenes Uebergewicht hat, die Unterscheidung leichter fällt, als wenn zwei positive Gesichtseindrücke für sich allein einwirken. Dies erklärt sich aus der starken Irradiation und der

Verschmelzung der Lichtbilder in Folge der stärkeren Erregbarkeit der Netzhaut bei einem sonst ganz schwarzen Gesichtsfelde. Dass diese Unterscheidbarkeit durch Verstärkung des durchfallenden Lichts noch abnehmen werde, ist zu deutlich, als dass es nöthig wäre, es noch durch ausdrückliche Beobachtungen nachzuweisen. Als Beispiele können die Doppelsterne dienen, die ganz den nämlichen Eindruck machen, wie die beschriebenen Bildchen zweier runder Oeffnungen, wodurch Licht fällt. Die Sterne ε und 5 Lyrae, welche 3,27″ auseinander stehen, erscheinen im Allgemeinen auch dem schärfsten Auge nur als ein einziger Stern. Die beiden in α Capricorni enthaltenen Sterne stehen 6,30″ von einander, und werden nur von ungemein guten Augen als getrennt erkannt. Selbst der kleine Stern, welcher bei ζ des grossen Bären steht und 11″ davon entfernt ist, wird nur selten in unserer Atmosphäre wahrgenommen. (Mädler's *Astronomie* S. 447.)

94 Die Frage nach den Grenzen des Gesichtsvermögens umfasst auch noch die zweite Frage, wie klein die Objecte werden können, ohne dass die Erkennung der Form darunter leidet. Die folgenden Versuche wurden mit viereckigen undurchsichtigen Objecten auf erhelltem Grunde angestellt:

Entfernung des Auges.	Wahrnehmung der viereckigen Körper.	Gesichtswinkel.
170mm	170 Mmm. = $1/_{5,7}$mm	206″
250	266 „ = $1/_{3,8}$	212

Vergleicht man hiermit die Grenzen der Sichtbarkeit runder Objecte (§. 91), so ergiebt sich, dass die Form eines Gegenstandes schon lange vorher nicht mehr wahrnehmbar ist, bevor derselbe aufhört sichtbar zu sein. Wenn viereckige Körper als solche erkannt werden sollen, müssen sie etwa fünfmal grösser sein, als wenn es sich blos darum handelt, dass sie gesehen werden. Dass andere mehr polygonale Körper von runden sich noch schwerer unterscheiden lassen als viereckige, bedarf keines besonderen Beweises, da man im Allgemeinen als Regel aufstellen darf, ein Object, über dessen Form mit Sicherheit geurtheilt werden soll, müsse um so grösser sein, je mehr Winkel und Seiten die dem Auge zugekehrte Oberfläche besitzt.

95 Mit blossem Auge nehmen wir die Objecte gewöhnlich bei auffallendem Lichte wahr, und das Netzhautbild besteht dann aus einem Ge-

Digitized by Google

misch positiver und negativer Gesichtseindrücke. Ueberdies sind diese Bilder nicht einfach schwarz oder weiss, sondern in der Regel sind sie verschiedenartig gefärbt. Dass die verschiedenen Farben durch ihren Gegensatz auf die Sichtbarkeit der Körper einen sehr merkbaren Einfluss ausüben, ergiebt sich aus den Versuchen Plateau's (*Sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière*, p. 25). Dieser befestigte weisse, gelbe, rothe und blaue Papierstreifchen, die einen Centimeter Breite hatten, auf eine vertical stehende schwarze Tafel und entfernte sich dann von dieser, bis er die Streifen nach einander verschwinden sah. Die Berechnung lehrte, dass die einzelnen farbigen Streifen unter folgenden Gesichtswinkeln noch sichtbar waren:

	Gesichtswinkel	
	im Schatten.	im Sonnenschein.
Weiss . . .	18″	12″
Gelb	19	13
Roth	31	23
Blau	42	26

Bei auffallendem Lichte werden also die Grenzen der Sichtbarkeit ebensowohl durch die Form des Objectes bestimmt, als durch dessen Färbung im Verhältniss zur Färbung des Gesichtsfeldes. Wäre es ein weisses Gesichtsfeld gewesen statt eines schwarzen, dann würden die Sichtbarkeitsdistanzen gerade in umgekehrter Ordnung auf einander gefolgt sein.

Bei durchfallendem Lichte kommen andere Eigenthümlichkeiten vor. 96
Zunächst werden eine Menge Lichtstrahlen aufgefangen, die ohne die Zwischenlagerung des Objectes zur Netzhaut gelangt sein würden: der Eindruck wird deshalb um so stärker, die Sichtbarkeit des Objectes um so entschiedener sein, je grösser die Anzahl der von der Netzhaut abgehaltenen Strahlen ist, wodurch daselbst ein Schattenbildchen erzeugt wird.

Es sind aber nicht blos die wirklich undurchsichtigen Körper, die auf solche Weise wahrgenommen werden können. Auch die durchsichtigsten festen und flüssigen Körper, ja unter besonderen Umständen selbst die Gase, erzeugen bei durchfallendem Lichte einen Gesichtseindruck. Der Grund hiervon liegt zunächst darin, dass viele Körper nur für einige Strahlen des weissen Lichtes durchsichtig sind und andere Strahlen absorbiren, wodurch sie alsdann gefärbt erscheinen.

Digitized by Google

Sodann kommt auch das Brechungs- und Reflexionsvermögen dieser Körper in Betracht, wodurch die Lichtstrahlen eine Ablenkung von der ursprünglichen Richtung erfahren, so dass einige gar nicht ins Auge gelangen. In Folge dieser Ablenkung erscheint ein Theil der durchsichtigen Körper dunkel. Da die Grösse der Ablenkung zu einem guten Theile von der besonderen Form abhängig ist, welche ein Körper besitzt, so hat die Form auch einen grossen Einfluss auf die Sichtbarkeit. Eine dünne Glasplatte z. B. wird nur eben erkannt an den Rändern, von denen wir, falls auffallendes Licht ausgeschlossen ist, keine Lichtstrahlen empfangen; ist aber die nämliche Glasmasse zu einer Kugel umgeschmolzen, dann wird man nur die Mitte dieser Kugel erhellt sehen, und im Umfange bemerkt man einen breiten dunkeln Rand.

Aber nicht blos die Form, sondern auch die Richtung, in welcher wir ein und dasselbe Object betrachten, übt ihren Einfluss aus. Ein Glaswürfel, der eine seiner Flächen dem Auge zukehrt, wird viel weniger gut gesehen werden, als wenn einer von seinen Winkeln so gerichtet ist. Der Grund davon ist klar. Im ersteren Falle treten fast alle Strahlen, welche die vorderste Fläche erreichten, in der nämlichen Richtung wieder nach aussen, im zweiten Falle dagegen werden sie nach allen Richtungen hin gebrochen oder reflectirt, so dass ein Theil der Flächen schwarz erscheint.

Hätte man eine farblose Glasplatte mit parallelen Flächen, deren Seitenflächen vollkommen rechtwinklig und glatt wären, welche Forderungen freilich in der Wirklichkeit niemals vollkommen erreichbar sind, und liesse man auf eine solche Platte parallele Strahlen lothrecht fallen, so würde ein dahinter befindliches Auge keine Spur dieser Platte sehen. Es würden alle Strahlen durch die Platte und längs derselben hingehen (Fig. 46), ohne eine Abänderung der Richtung zu erfahren. Fielen aber parallele Strahlen in schiefer Richtung auf die nämliche Glasplatte, oder träfe ein Bündel divergirender Strahlen auf dieselbe (Fig. 47), dann würden deren Ränder sichtbar werden, weil die hier auffallenden Strahlen theils nach *a* und *b* gebrochen, theils nach *c* und *d* reflectirt werden, so dass weder die gebrochenen noch die reflectirten Strahlen das Auge erreichen. Dies ist der Hauptgrund, weshalb viele durchsichtige Körper bei künstlichem Lichte schwärzere Ränder zeigen als beim Tageslichte. Später wird sich die Anwendbarkeit dieser Beobachtungen auf die Beleuchtung mikroskopischer Gegenstände herausstellen.

Im Allgemeinen darf man annehmen, dass die Zerstreuung der Strahlen in allen Richtungen in dem Maasse zunehmen wird, als ein durchsichtiger Körper eckiger und unregelmässiger gestaltet ist. Daher rührt es, dass kleine Partikelchen sehr durchsichtiger Körper, z. B. pulverisirtes Glas, das abgeschliffene Pulver des Diamanten u. s. w. fast ganz undurchsichtig sind. Daher rührt es auch, dass die dünnsten Kreideplätt-

Digitized by Google

eben undurchsichtig sind, obwohl die kleinen Partikelchen, woraus die Kreide besteht, das Licht recht gut durchlassen.

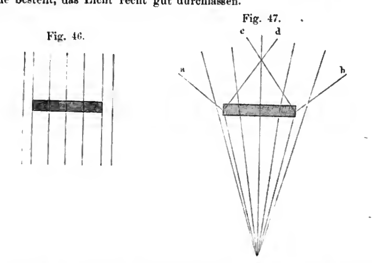


Fig. 46. Fig. 47.

Diese Zerstreuung findet nicht blos bei durchfallendem Lichte statt, 97
sondern die Strahlen des auffallenden Lichtes werden ebenfalls an zahllosen Stellen in allerhand Richtungen reflectirt und zerstreut, und dies ist der Grund, weshalb das Pulver solcher Körper weiss erscheint. Das Nämliche nimmt man auch an der Luft wahr. Ist dieselbe stark zertheilt, z. B. durch Schütteln mit Seifenwasser, so erscheinen die kleinen Kügelchen weiss. Schliesst man aber das auffallende Licht aus und betrachtet die nämlichen Luftkügelchen bei durchfallendem Lichte, so wird man an allen einen breiten schwarzen Rand wahrnehmen, und zwar aus dem nämlichen Grunde, weshalb an einer kleinen Glaskugel ein derartiger Rand bemerkt wird.

Selbst sehr kleine Verschiedenheiten im Brechungsvermögen der Medien werden vom Auge noch wahrgenommen. Die kleinsten Spuren einer ungleichen Mengung in einer gläsernen Linse, die sich als Adern oder Streifen darstellen, die Trennungsgrenze zweier Flüssigkeiten mit verschiedenem Brechungsindex, wie Wasser und Schwefelsäure, Wasser und Aether u. s. w., erkennt man ohne Mühe. Ja selbst die wogenden Bewegungen in der Luft, die über einer erwärmten Fläche, z. B. über einem Ofen aufsteigt, weil sich die erwärmte Luft mit der kälteren umgebenden mengt, werden durch helles durchfallendes Licht, namentlich Sonnenlicht, wahrnehmbar, weil die warme Luft und die kalte Luft nicht ganz das nämliche Brechungsvermögen besitzen. Dass auch bei auffallendem Lichte ein geringer Unterschied im Gange der reflectirten Strahlen dem Auge nicht entgeht, sehen wir bei den mancherlei linnenen, kattunen

Digitized by Google

und seidenen Stoffen (Damast, Köper u. s. w.), bei denen lediglich durch den wechselnden Lauf der Fäden, die bald in dieser, bald in jener Richtung dem Auge zugekehrt sind, allerlei Zeichnungen sichtbar werden. Das stärkere oder schwächere Hervortreten dieser Zeichnungen aber ist, wie Jedermann weiss, von der Art und Weise abhängig, wie das Licht auf solche Stoffe auftrifft.

98 Da das Brechungs- und Reflexionsvermögen der farblosen durchsichtigen Körper der einzige Grund ist, weshalb sie bei durchfallendem Lichte sichtbar sind, so versteht es sich von selbst, dass das umgebende Medium den allerbedeutendsten Einfluss auf deren Sichtbarkeit ausüben muss. Je mehr die Brechungsindices der Substanz, woraus ein Object besteht, und des Mediums, durch welches die Strahlen gehen müssen, um das Auge zu erreichen, von einander differiren, um so grösser ist auch die Zahl jener Strahlen, die in Folge der Brechung nicht hineingelangen können. Daher rührt es, dass man im Stande ist, den nämlichen Körper mehr oder weniger durchsichtig zu machen. Glaspulver z. B. mit dem Brechungsindex 1,5 ist in Luft mit dem Brechungsindex 1,000294 fast ganz undurchsichtig; in geringerem Maasse erscheint es so unter Wasser mit dem Brechungsindex 1,336; noch durchscheinender wird es unter Alkohol (1,374); in Terpentinöl endlich, dessen Brechungsindex (1,478) jenem des gewöhnlichen Glases nur wenig nachsteht, kann es kaum noch gesehen werden. Eine Kronglaslinse wird in Terpentinöl nur mit Mühe wahrgenommen, und ein dünnes Glasplättchen sieht man gar nicht mehr darin. Später werden wir sehen, wie wichtig diese Thatsachen für die mikroskopische Beobachtung sind.

99 Es versteht sich von selbst, dass jeder Gesichtseindruck einer bestimmten Zeit bedarf, um wahrnehmbar zu sein. Dass dieser Zeitraum jedoch ein äusserst kurzer sein kann, ergiebt sich aus der Sichtbarkeit des elektrischen Funkens, der so rasch verschwindet, dass ein damit beleuchteter Körper, der in schneller Drehung begriffen ist, still zu stehen scheint. Nach den Versuchen von Wheatstone (*Phil. Transact.* 1835, II. p. 583) ist $^1/_{1000000}$ Secunde ausreichend, um einen Gesichtseindruck hervorzubringen, und somit darf man die Fähigkeit des Auges, Gesichtseindrücke aufzunehmen, als eine fast unbeschränkte bezeichnen. Ganz anders verhält es sich mit der Fähigkeit des Auges, die in der Zeit auf einander folgenden Eindrücke zu unterscheiden. Jeder Gesichtseindruck nämlich, der einmal entstanden ist, hat eine gewisse Dauer und besteht noch eine Zeit lang fort, auch nachdem das leuchtende Object, wodurch er hervorgerufen wurde, bereits verschwunden ist. Daher rührt es, dass eine Reihe von Gesichtseindrücken, welche sehr schnell auf einander folgen, nicht mehr gesondert wahrgenommen werden können. Die Speichen in den Rädern eines schnell sich bewegenden Wagens können wir aus die-

Digitized by Google

sem Grunde nicht mehr unterscheiden. Die niederfallenden Regentropfen und Hagelkörner erscheinen dem Auge streifenförmig, und ein glühender Körper, der sich schnell herum bewegt, wird als feuriger Kreis wahrgenommen. Auch manche physikalische Spielzeuge, die stroboskopischen Scheiben, Horner's Daedaleum u. s. w., finden ihre Erklärung in dieser Fortdauer der Gesichtseindrücke.

Es ist schon im Voraus zu erwarten, dass die Dauer jedes Gesichtseindruckes eine verschiedene sein wird und vom Eindrucke selbst abhängen muss. Dies wird auch einigermaassen durch die Versuche von Plateau (*Sur quelques propriétés des impressions par la lumière*, p. 9) bestätigt, der verschieden gefärbte Papierstreifen auf einem schwarzen Grunde befestigte und durch ein Räderwerk schnell umdrehte. War die Schnelligkeit der Umdrehung bekannt, so konnte dann die Zeit bestimmt werden, welche nöthig war, damit der gefärbte Papierstreifen noch als solcher erkannt werde. Es ergaben sich bei diesen Versuchen für

Weiss	0,35	Secunden
Gelb	0,35	"
Roth	0,34	"
Blau	0,32	"

Man ersicht hieraus, dass der Gesichtseindruck am kürzesten andauert bei jenen Farben, deren Sichtbarkeit nach den oben mitgetheilten Versuchen Plateau's (§. 95) unter gleichen Umständen am geringsten ist. Im Allgemeinen lässt sich also als Regel aufstellen, dass die Unterscheidbarkeit der zeitlich auf einander folgenden Gesichtseindrücke in dem Maasse zunimmt, als ihre Stärke abnimmt. Uebrigens sind die hierbei gefundenen Verschiedenheiten nicht sehr hervortretend, und sie würden vielleicht grösser ausfallen, wenn man in der Beobachtung der Objecte mehr Modificationen eintreten liesse. Ohne gerade beweisende Versuche für seine Behauptung anzuführen, giebt Young (*A course of lectures on natural philosophy*, I, p. 455) an, die Dauer der Gesichtseindrücke wechsele von 0,01 bis 0,50 Secunde, und sie sei um so länger, je stärker der Eindruck war. Man wird sich aber nicht weit von der Wahrheit entfernen, wenn man als Mittel annimmt, dass unter gewöhnlichen Umständen $1/3$ Secunde zwischen zwei auf einander folgenden Eindrücken liegen muss, wenn sie gesondert zum Bewusstsein gelangen sollen.

Dass auch im Zustande des Auges selbst noch besondere Ursachen **100**
enthalten sein können, wodurch die Grenzen des Sehvermögens in stärkerem oder schwächerem Maasse eingeengt werden, ist hinlänglich bekannt. Die Betrachtung jener Ursachen, welche in erheblichen pathologischen Zuständen der das Auge zusammensetzenden Theile enthalten

Digitized by Google

sind, darf hier überflüssig erscheinen, da sich doch keiner mit mikroskopischen Untersuchungen beschäftigen wird, dessen Augen sich nicht in einem gesunden Zustande befinden. Doch auch das gesundeste Auge unterliegt dem störenden Einflusse einzelner Erscheinungen, die im Auge selbst ihren Sitz haben und von jenen, welche mit diesen Erscheinungen unbekannt sind, leicht auf Rechnung ausserhalb des Auges gelegener Körper geschrieben werden.

Die Erscheinungen, welche hier gemeint sind, kann man unter der allgemeinen Bezeichnung der entoptischen zusammenfassen. Sie sind aber keineswegs von der nämlichen Beschaffenheit bei verschiedenen Personen; deshalb muss jeder Beobachter diejenigen, welche seinem Auge eigenthümlich sind, kennen zu lernen suchen.

101 Wären die Medien, aus denen das Auge zusammengesetzt ist, vollkommen durchsichtig und hell, so würde auf der erhellten Oberfläche der Netzhaut nirgends ein Schattenbild entstehen können, so lange nicht ein ausserhalb des Auges befindliches Object ein solches erzeugt. Die vollkommenste Durchsichtigkeit der Augenmedien wird jedoch nur höchst selten, wenn überhaupt, angetroffen, und da die Netzhaut von allen Objecten, die ihr den Zutritt der Lichtstrahlen beeinträchtigen, ein Schattenbildchen empfängt, so werden, wie von den ausserhalb des Auges befindlichen Objecten, ebenso auch von jenen im Auge selbst vorkommenden auf der Netzhaut Schattenbildchen erzeugt, mögen dieselben nun wirklich undurchsichtig sein, oder mögen sie in Folge der Brechung der Lichtstrahlen deren Ablenkung bewirken. Dergleichen Schattenbilder von inneren Objecten sind freilich nur schwach ausgeprägt und deshalb oftmals nicht wahrnehmbar; unter besonderen Umständen indessen treten sie deutlich hervor, so dass der damit nicht bekannte Beobachter einer Selbsttäuschung unterliegen kann. Sie treten vorzüglich in dem Falle auf, wenn das Auge durch eine kleine Oeffnung sieht, z. B. durch Teleskope oder Mikroskope. Da aber diese Erscheinungen zu der sonstigen optischen und mechanischen Einrichtung dieser Instrumente in gar keiner Beziehung stehen, so kann jeder, der sich auf gehörige mikroskopische Thätigkeit vorzubereiten wünscht, vor Allem den störenden Einfluss dieser Körperchen im eigenen Auge kennen lernen.

102 Am besten erlangt man diese Kenntniss auf folgende Weise. Mit einer feinen Nadel sticht man ein kleines Löchelchen von etwa $^1/_{10}{}^{mm}$ Durchmesser in ein undurchsichtiges Kartenblatt, das man dergestalt dicht vors Auge hält, dass die Oeffnung bedeutend vergrössert sich darstellt; indessen auch nicht gar zu dicht, weil die Erscheinungen sonst weniger scharf hervortreten. Hierauf richtet man das Auge auf eine stark erhellte Oberfläche, z. B. auf eine von der Sonne beschienene weisse Wand, oder auf ein Blatt Papier, oder auf die matt geschliffene Kugel

Digitized by Google

einer Argand'schen Lampe. Man wird die Oeffnung zuerst als ein schwach erhelltes Gesichtsfeld erschauen, und indem man das Auge abwechselnd schliesst und öffnet, wird man zugleich wahrnehmen, dass dieses Gesichtsfeld grösser oder kleiner wird, jenachdem die Pupille sich erweitert oder verengert. Der dunkele Rand, wodurch das Gesichtsfeld begrenzt wird, ist in der That nichts anderes, als das Schattenbild der Iris auf der Netzhaut. Auf letzterer zeigen sich auch Schattenbildchen aller anderen Körperchen, die sich zwischen ihr und der kleinen Oeffnung befinden. Da alle diese Bildchen somit von Objecten kommen, die unter einem sehr grossen Gesichtswinkel wahrgenommen werden, so müssen sie nothwendiger Weise im Vergleich zu den sie erzeugenden Objecten eine sehr ansehnliche Grösse haben. Man erkennt dies, sobald ein sehr feines Geflecht oder ein anderer kleiner Gegenstand vor die Oeffnung gehalten wird, man erfährt es aber auch aus dem Schatten, der von den Cilien auf der Netzhaut entsteht, wenn diese beim Zukneifen des Auges vor die Oeffnung gebracht werden, wobei man auch zugleich mit wahrnehmen wird, dass die Cilien des oberen Augenlides nach aufwärts gerichtet sind. Das rührt daher, dass die kleine Oeffnung, die als ein leuchtender Punkt angesehen werden kann, sich im Brennpunkte des Auges oder in dessen Nähe befindet, und dass die Lichtstrahlen, welche von da ins Auge treten, gleich jenen, welche aus dem Brennpunkte einer Linse oder eines Linsensystems (§. 39) kommen, parallel oder selbst etwas divergirend werden. Demnach erfolgt keine Kreuzung und das Schattenbild hat gerade die umgekehrte Stellung von einem gewöhnlichen Netzhautbilde. Natürlich gilt diese Umkehrung auch von allen übrigen auftretenden Schattenbildern sowie von ihrer Bewegungsrichtung, und es scheinen die Objecte zu sinken, wenn sie wirklich sich heben, und umgekehrt scheinen die Schattenbilder der sich senkenden Objecte gehoben zu werden.

Die auffallendste und dabei am meisten störende unter diesen Erscheinungen ist jene, welche unter dem ganz unpassenden Namen der *Mouches volantes* bekannt ist. Nur bei wenigen Augen wird diese Erscheinung gänzlich vermisst; doch tritt sie in einem Auge stärker hervor als in einem anderen, und selbst von einer und der nämlichen Person wird sie zu verschiedenen Zeiten stärker und schwächer wahrgenommen. Gar nicht selten kommt es vor, dass diese *Mouches volantes* auch schon beim gewöhnlichen Sehen mit zerstreutem Lichte wahrgenommen werden; doch werden sie immer deutlicher gesehen, wenn man durch kleine Oeffnungen blickt. Nicht immer haben sie die nämliche Gestalt. Die Grundform besteht übrigens meistens in runden Ringen, die im Inneren hell sind und einen dunkeln, manchmal farbigen Rand besitzen. Sie haben scharfe Umrisse, woraus zu entnehmen ist, dass die Körperchen, durch 103

Digitized by Google

welche die Erscheinung zu Stande kommt, nicht weit von der Netzhaut entfernt sein können. Donders hat den hinteren Theil des Glaskörpers als die Stelle nachgewiesen, wo die Körperchen liegen, durch welche diese Form der *Mouches volantes* erzeugt wird; er und Janssen haben dort auch runde Körperchen von $^1/_{60}$ bis $^1/_{80}{}^{mm}$ Durchmesser entdeckt, d. h. von einer Grösse, die nach der Berechnung genau zur Grösse ihrer auf der Netzhaut entstehenden Bildchen passt. Diese sehr verbreitete Form der *Mouches volantes* hat grosse Aehnlichkeit mit jener der menschlichen Blutkörperchen, wenn sie bei mässiger Vergrösserung betrachtet werden. Manchmal stellen sie sich in verschiedenen Schichten dar, was daran erkenntlich ist, dass die eine Schicht vor der anderen deutlicher wahrgenommen wird; sie können mithin nicht alle gleich nahe der Netzhaut liegen. Oftmals sind diese Ringelchen zu grösseren und kleineren Gruppen vereinigt. Manchmal kommt auch eine perlschnurartige Vereinigung vor, und diese Form macht wieder den Uebergang zu den doppelten Streifen oder Fasern, die mehr oder weniger scharf begrenzt sind und nicht selten Schlingen bilden. Endlich sieht man oftmals Gruppen der erstgenannten Ringelchen, die mit einem faserigen Anhängsel versehen sind, und diese sind es wohl, welche Manche als spermatozoidenförmige bezeichnet haben.

Bei einer gemeinschaftlich mit Schroeder van der Kolk angestellten Untersuchung habe ich Fasern entdeckt, von denen die eine oder die andere der genannten Formen offenbar herrührt. Sie kommen in der die Glasfeuchtigkeit umschliessenden und durch Fortsätze sie in Fächer theilenden Membran vor, hängen aber nur locker damit zusammen, sind zum Theil gegliedert oder perlschnurförmig und haben grosse Neigung zur Schlingenbildung.

Alle diese Körperchen bewegen sich im Gesichtsfelde, auch unabhängig von der scheinbaren Bewegung, welche von der veränderten Richtung der Gesichtsaxe herrührt. Davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man, während die Oeffnung im Kartenblatte auf die nämliche Stelle gerichtet bleibt, die Augenaxe rasch nach oben oder nach unten richtet und dann wieder mit dem Auge durch die Oeffnung blickt. Eine Anzahl jener Körperchen, welche diese Erscheinungen hervorrufen, ist dann beweglich geworden, und ihre Schatten werden in der Regel als sinkend sich darstellen, zum Beweise, dass die Körperchen selbst sich erbeben, mithin specifisch leichter als die Glasfeuchtigkeit sind.

104 Von diesen *Mouches volantes* unterscheiden sich durch die Localität gar sehr andere Erscheinungen, die man im Gesichtsfelde erblickt, wenn man durch eine kleine Oeffnung sieht. Da nach dem Angegebenen alle Modificationen der Pellucidität in den Medien durch Schattenbilder auf der Netzhaut sich kund geben, so erkennt man auch das kleinste Fleck-

Digitized by Google

chen und Streifchen auf der Hornhaut, jede sonst ganz unwahrnehmbare Unvollkommenheit der Krystalllinse, ferner Körperchen, die im *Humor aqueus* oder im *Corpus vitreum* schweben, die Fettpartikelchen aus den Meibom'schen Drüsen, die nach vorgängigem Zukneifen der Augenlider als glänzende Tröpfchen mit breiten Schattenrändern auf der Oberfläche der Hornhaut scheinbar herabsinken, in der Wirklichkeit aber in die Höhe steigen, die kleinen Runzeln, welche bei einem Drucke auf den Augapfel auf der Hornhaut entstehen u. s. w. Achtet man auf den Gang der Lichtstrahlen, so ist es selbst möglich, hinsichtlich jener Körperchen, welche Schattenbilder hervorrufen, das Vorkommen vor oder nahe der Iris, oder auch hinter der Iris mit vollkommener Sicherheit nachzuweisen. Doch haben alle diese Einzelnheiten mehr Interesse für den praktischen Augenarzt als für den mikroskopischen Beobachter.

Digitized by Google

Dritter Abschnitt.

Allgemeine Beschreibung der Mikroskope.

105 In den vorhergehenden Abschnitten sind die Principien entwickelt worden, deren Anwendung nun folgen soll. Dem Plane gemäss, den ich mir vorgezeichnet habe, wende ich mich jetzt zur allgemeinen Betrachtnng der verschiedenen Art und Weise, wie Linsen sowohl als Hohlspiegel zu Mikroskopen sich herrichten lassen. Man erwarte daher nicht, eins dieser Instrumente hier speciell beschrieben zu finden, da einer solchen Beschreibung, wenn sie entsprechend sein soll, zugleich auch eine kritische Basis zukommen muss, die sich anf die vollkommene Kenntniss der Art und der Bestimmung jedes Instruments und seiner Entwickelungsgeschichte, wenn ich mich so ausdrücken darf, zu stützen hat. Ihre besondere Beschreibung verspare ich deshalb für einen späteren Abschnitt, und dorthin verweise ich demnach immer, wenn der Leser eine Einrichtung oder einen Apparat nicht angegeben findet, dessen Beschreibung ihm vielleicht hierher zn gehören scheint.

Im ersten Abschnitte liess ich die Richtungsänderungen der Lichtstrahlen durch katoptrische Medien vorausgehen und diesen die Aenderungen durch dioptrische Medien nachfolgen, weil für die ersteren einfachere Gesetze gelten als für die letzteren. Da aber dioptrische Mikroskope gegenwärtig bei weitem die meiste Verbreitung haben, so werde ich hier die umgekehrte Ordnung befolgen, und zunächst die Wirkung der Linsen und der Linsensysteme betrachten, wenn dieselben in der Lupe oder im einfachen Mikroskope znr Anwendung kommen. Manches von demjenigen, was hier besprochen wird, ist aber anch so aufzufassen, dass es im Allgemeinen auf die übrigen Mikroskope ebenfalls Anwendung findet.

Erstes Kapitel.

Die Lupe und das einfache dioptrische Mikroskop.

Das Ange besitzt die Fähigkeit, Gegenstände, die sich in verschiedenen Entfernnngen befinden, mit der nämlichen Dentlichkeit wahrznnehmen. Wir haben aber auch im Vorhergehenden gesehen, dass die Grösse des Netzhautbildchens, welches von einem und demselben Objecte entsteht, durchaus von dem Gesichtswinkel bedingt ist, unter welchem dasselbe gesehen wird, das heisst also von der Entfernung des Objectes. Bringen wir irgend einen kleinen Gegenstand dem Auge immer näher und näher, so scheint uns derselbe ans diesem Grunde immer grösser und grösser zu werden. Dies ist ein Beweis dafür, dass dem Auge selbst ein Vergrösserungsvermögen zukommt. Gestattete daher das Accommodationsvermögen eine unbegrenzte Annäherung des Objectes ans Auge, dann würde der Gebrauch von Lupen und Mikroskopen wirklich ganz überflüssig sein. 106

Wegen der grossen Wichtigkeit dieses Pnnktes für das mikroskopische Sehen werde ich etwas genauer darauf eingehen. Wir haben gesehen, dass es für jedes Auge einen gewissen Grenzpunkt giebt, diesseits dessen ein Object nicht mehr deutlich und scharf wahrgenommen werden kann, weil alsdann die Vereinigungspnnkte der Strahlen hinter die Netzhaut fallen. Dem Fernsichtigen liegt dieser Nähepunkt entfernter, als zum gewöhnlichen Sehen wünschenswerth ist; er verbessert diesen Fehler des Accommodationsvermögens durch eine Brille mit convexen Gläsern, wodurch den in das Auge dringenden Lichtstrahlen etwas mehr Convergenz zu Theil wird, so dass das Bildchen nun doch auf die Netzhaut fallen kann. In Betreff sehr kleiner Objecte können aber alle Menschen als Fernsichtige gelten. Zu deren Wahrnehmnng bedarf also das Auge nur einer convexen Linse, die im Stande ist, selbst dann, wenn das Object dem Auge ganz nahe ist, die stark divergirende Richtung der Strahlen dergestalt abzuändern, dass sie fast parallel oder doch nur wenig divergirend ins Auge gelangen. Ist diese den Strahlen ertheilte Richtung übereinstimmend mit jener der Lichtstrahlen von Körpern, die sich in einer dem deutlichen Sehen entsprechenden Entfernung befinden, dann wird von ihnen ein ebenso dentliches Bild des Objectes auf der Netzhaut entstehen, wie von letzteren. Man erkennt dies deutlich bei Vergleichung von Fig. 48 und Fig. 49. In Fig. 48 fällt das Bild auf *v* hinter die Netzhaut, weil die Strahlen des Objectes *a* zu stark divergirend ins Auge gelangen. Ist dagegen, wie in Fig. 49, die Linse *A B* zwischen das Object und das Auge eingeschoben, dann wird die Divergenz der ins 107

Auge tretenden Strahlen so abgeändert, als befände sich das Object nicht in *a*, sondern irgendwo in *x*, in einer dem deutlichen Sehen entsprechenden Entfernung. Deshalb fällt nun das Bildchen in *v* gerade auf die Netzhaut.

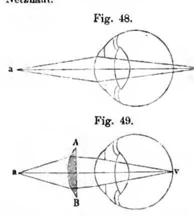


Fig. 48.
Fig. 49.

Von der Richtigkeit dieser Auffassung kann man sich ganz einfach überzeugen, indem man eine kleine Oeffnung in ein Kartenblatt macht und diese in geringer Entfernung vom Auge hält. Die Oeffnung wird sich vergrössert darstellen. Den Rändern jedoch fehlt es so sehr an aller Schärfe und Bestimmtheit, dass es nicht gelingt, die Form derselben zu erkennen; denn die dreieckige oder viereckige Oeffnung wird fast eben so rund sich darstellen, als wäre sie mit einer Stecknadel oder Nähnadel gemacht worden. Bringt man aber eine Linse mit passendem Focus zwischen Auge und Karte, dann tritt die Gestalt der Oeffnung ganz deutlich hervor und ihre Ränder erscheinen scharf. Gleichwohl erscheint sie um nichts grösser als früherhin, vielmehr selbst etwas kleiner; denn das Diffusionsbild, welches bei Abwesenheit der Linse auf der Netzhaut entstand, nahm wirklich einen grösseren Raum ein, als das scharfe wahre Bild, welches durch die genaue Vereinigung der Strahlen zu Stande kommt. Weit davon entfernt also, das Bild auf der Netzhaut zu vergrössern, bringt eine dicht vors Auge gehaltene Linse eine Verkleinerung desselben hervor, und dieselbe wirkt vornehmlich dadurch vortheilhaft, dass sie dem Netzhautbildchen jene Reinheit und Bestimmtheit verschafft, die ohne die eingeschobene Linse fehlen würden.

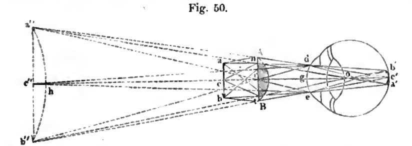
Diese Wahrnehmung hat dadurch ein besonderes Interesse, weil sie uns mit Bestimmtheit darthut, wie gross der bei Vielen noch obwaltende Irrthum ist, welche glauben, die Vortrefflichkeit eines Mikroskopes sei von dessen Vergrösserungsvermögen abhängig. Das ist eine gänzliche Verkennung der eigentlichen Bestimmung dieses Instrumentes, die dahin geht, diffuse Netzhautbilder in scharfe und reine Bilder umzuwandeln. Bei Benutzung des einfachen Mikroskopes kommt die Vergrösserung selbst grossentheils auf Rechnung des Auges, welches, wenn man die Sache von theoretischer Seite ansieht, in dieser Beziehung ein unbeschränktes Vermögen besitzt. Indessen wird derjenige, der nicht näher als bei 200^{mm} Entfernung scharf sieht, sich wohl hüten, Dinge, die er genau ansehen will, bis auf 50^{mm} zu nähern, wo er sie viermal grösser sehen würde;

Digitized by Google

denn durch Erfahrung weiss er, dass, wenn die Grösse auf solche Weise vermehrt wird, die Deutlichkeit des Gesichtseindruckes mehr verliert als gewinnt.

Um näher darzuthun, auf welche Weise eine einzelne Linse uns die Gegenstände vergrössert vorführt, wollen wir den Gang der Strahlen eines Objectes bis zur Netzhaut verfolgen. Wenn *ab* (Fig. 50) ein Object ist, 108

Fig. 50.



welches sich vor einer Linse *AB* befindet, dann werden von allen Punkten desselben, wie *a*, *c*, *b* u. s. w., Strahlenkegel ausgehen, deren Strahlen, nachdem sie durch die Linse gebrochen worden sind, nur noch in einem geringen Grade divergiren, so dass sie von den entfernter liegenden Punkten a'', c'', b'' herzukommen scheinen. Ist diese Entfernung der mittleren Sehweite des Auges entsprechend, dann werden die durch die Linse gebrochenen Strahlen, nachdem sie ins Auge eingetreten sind, sich in $a'c'b'$ wiederum zu einem Netzhautbildchen vereinigen, welches, wie das immer geschieht, im Verhältniss zum Objecte umgekehrt ist. In jedem Strahlenkegel ist ein Strahl enthalten, der gerade durch den Kreuzungspunkt geht. Hier sind es die Strahlen ana', crc' und btb', die sich in *o* schneiden. Durch Einschiebung der Linse *AB* scheint also das Object in eine grössere Entfernung gebracht worden zu sein, wo die Schenkel des Gesichtswinkels $a''ob''$ weiter auseinander weichen, und deshalb erscheint das Object vergrössert *).

Dass aber die Vergrösserung nicht blos von der Annäherung des Objectes zum Auge herrührt, vielmehr auch die Linse zur Vergrösserung des Gesichtswinkels und mithin des Netzhautbildchens beiträgt, das entnimmt man deutlich aus der Figur.

Wäre die Linse *AB* nicht vorhanden, dann würde der Gesichtswin-

*) Durch ein einfaches Verfahren kann Jeder sich die Ueberzeugung verschaffen, dass das scheinbare Bild irgend eines durch eine Linse betrachteten Objectes weiter vom Auge entfernt ist als das Object selbst. Hält man nämlich eine Linse mit nicht zu grosser Brennweite über den Rand einer Tafel oder eines Buches und versucht man mit dem Finger oder mit einem anderen Körper gegen diesen Rand zu stossen, so wird man immer in einiger Entfernung von dem Objecte selbst anstossen.

Digitized by Google

kel durch die Richtungslinien bestimmt werden, die man vom Kreuzungspunkte o nach den Endpunkten a und b des Objectes zieht. Bei eingeschobener Linse wird der Gesichtswinkel durch die Richtungslinien oa'' und ob'' bestimmt, welche nach den beiden Endpunkten des scheinbaren Bildes $a''b''$ gezogen werden. Nun ist aber offenbar der Winkel $a''ob''$ grösser als der Winkel aob, mit anderen Worten also, die Linse macht den Gesichtswinkel, also auch das Netzhautbildchen, grösser*).

*) Da sich meines Wisseus nirgends eine genaue Theorie der einfachen Linse oder der Lupe findet, so wird folgende mathematische Entwickelung, die ich meinem Collegen van Rees verdanke, vielen Lesern erwünscht sein. Mit Bezug auf die in Fig. 50 vorkommenden Buchstaben ist in der Linie

c'' ——— c ——— R ——— o ——— c'

die Bezifferung so gewählt, dass c' die Netzhaut, o den Kreuzungspunkt, R den optischen Mittelpunkt der Lupe, c den Ort des Objectes, c'' den Ort des scheinbaren Bildes bezeichnet. Ist dann ferner

d der Durchmesser des Objectes,
d'' „ „ „ scheinbaren Bildes,
d' „ „ „ Netzhautbildchens,
$a = c''o$ die mittlere Sehweite, vom Kreuzungspunkte an gerechnet,
$b = Ro$ die Entfernung der Lupe vom Kreuznngspunkte,
$c = c'o$ die Entfernung der Netzhant vom Kreuzuugspunkte,
p die Brennweite der Lupe, so haben wir

$$d'' : d = c''R : cR.$$

Nach einer bekannten Formel ist aber $cR = \frac{p \cdot c''R}{c''R + p}$, und so erhalten wir statt der vorigen Gleichung

$$d'' : d = 1 : \frac{p}{c''R + p},$$

oder, da $c''R = a - b$ ist,

$$d'' : d = 1 : \frac{p}{a - b + p},$$

$$\text{mihtin} \quad d'' = \frac{a - b + p}{p} \cdot d$$

Da ferner die Richtungslinien $a''oa'$ und $b''ob'$ (Fig. 50), wodurch die Grösse des Netzhautbildcheus bestimmt wird, in o sich kreuzeu, so haben wir

$$\begin{aligned} d' : d'' &= oc' : oc'' \\ &= o : a, \\ \text{also} \quad d' &= \frac{c\,d''}{a} \\ &= \frac{a - b + p}{a} \cdot \frac{cd}{p} \\ &= \left(1 + \frac{p - b}{a}\right) \cdot \frac{cd}{p}. \end{aligned}$$

Bei dieser Bestimmnng des Durchmessers des Netzhautbildchens sind b, c, d, p gegebene Grössen, die nur von den Maassen des Auges, sowie von der Lage und vom Focns der Lupe abhängig sind, an denen daher auch die Kurzsichtigkeit oder Fernsichtigkeit des Auges nichts ändert. Nur auf die mittlere Sehweite a, d. h. anf die Entfernung des deutlichen Sehens, üben diese einen Einfluss. Um zu erforschen, wie dieser Einfluss sich äussert, wollen wir drei Fälle unterscheiden.

1) $p = b$, d. h. die Brennweite der Lupe ist gleich der Entfernung der Lupe vom Kreuzungspnnkte. Dann ist $d' = \frac{cd}{p}$. Der Einfluss der Kurzsichtigkeit oder

Das scheinbare Bild kann aber in keiner geraden Ebene liegen, weil 109
die Objectpunkte a, b u. s. w., welche ausserhalb der optischen Axe sich befinden, vom Mittelpunkte der Linse entfernter sind, als der Punkt c, wo diese Axe das Object schneidet. Befindet sich nun die Mitte des Objectes in der passenden Entfernung von der Linse, dass die davon ausgehenden Lichtstrahlen ihren Vereinigungspunkt gerade auf der Netzhaut haben und dort ein scharfes Bild erzeugen, dann liegen die Enden a und b des Objectes nicht in der entsprechenden Entfernung, sondern sind weiter davon abstehend, weshalb ihre Vereinigungspunkte nicht auf die Netzhaut, sondern vor diese fallen. Demnach kommen divergirende Strahlen auf die Netzhaut, wie es in der Figur angegeben ist. Dort entstehen die Diffusionsbildchen, die etwas grösser ausfallen werden als die wahren Bildchen, die man auch von den Enden des Objectes erhalten kann, wenn man dasselbe der Linse etwas nähert, obwohl nicht ganz so scharf, wie vom Mitteltheile des Objectes. Da nun aber in diesem Falle die Mitte des Objectes der Linse zu sehr genähert ist, so dass der Vereinigungspunkt der Axenstrahlen hinter die Netzhaut fallen würde, so treffen auf die Netzhaut convergirende Strahlen und erzeugen ein Diffusionsbildchen.

Dass das scheinbare Bild gekrümmt sein muss, ergiebt sich daraus, dass die Strahlen, welche von der Mitte c des Objectes ausgehen, nach dem Durchschnitte durch die Linse stärker divergiren (§. 39) als jene, welche von den Enden a und b kommen, weil diese letzteren sich entfernter vom optischen Mittelpunkte befinden. Die Verlängerungen der mittleren gebrochenen Strahlen werden daher auf der entgegengesetzten Seite in h zusammen kommen, d. h. näher der Linse, als jene der Randstrahlen, deren Vereinigungspunkte in a'' und b'' befindlich sind. Man sieht zugleich, dass die Krümmung des scheinbaren Bildes die entgegengesetzte ist, wie von einem wahren Bilde (§. 43).

Man kann daher nur successiv die verschiedenen Theile eines in einer geraden Ebene gelegenen Objectes durch eine Linse scharf wahrnehmen, nicht aber zu gleicher Zeit; und ausserdem treten nicht blos die verschiedenen Theile des Objectes mit nngleicher Dentlichkeit auf, sondern die

---

Fernsichtigkeit verschwindet in diesem Falle gänzlich, das Netzhautbildchen ist bei Myopen und Presbyopen gleich gross.

2) p ist grösser als b. Der Bruch $\frac{p-b}{a}$, also auch d' wird um so grösser sein, je kleiner der Nenner a ist. In diesem Falle ist also das Netzhautbildchen beim Kurzsichtigen grösser als beim Fernsichtigen.

3) p ist kleiner als b. Der Bruch $\frac{p-b}{a}$ wird hier negativ, d' also wird um so kleiner, je kleiner a ist. Demnach ist hier das Netzhautbildchen beim Kurzsichtigen kleiner als beim Fernsichtigen.

Man sieht leicht ein, dass der letztgenannte Fall der gewöhnliche ist, ja sogar der allein mögliche bei stark vergrössernden Lupen, deren Brennweite p weniger als 10^{mm} beträgt, während a oder b stets grösser ist, als der Abstand von der Hornhaut und vom Kreuzungspunkte, also mehr als 10^{mm} beträgt.

Gestalt des scheinbaren Bildes stimmt auch nicht vollständig mit jener des Objectes überein. Am deutlichsten tritt dies hervor, wenn man ein Netz oder eine Gaze betrachtet, die aus viereckigen Räumen oder Maschen

Fig. 51.

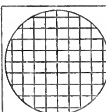
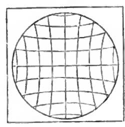
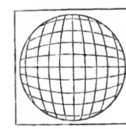


Fig. 52.



zusammengesetzt ist. Bringt man deren Mitte in solche Entfernung von der Linse, bei der sie am schärfsten wahrgenommen wird, so sieht man statt der rechtwinkligen Maschen, wie sie in Fig. 51 dargestellt sind, das in Fig. 52 abgebildete Netz, dessen Maschen nur in der Mitte nahezu quadratisch sind, nach der Peripherie des Feldes zu aber immer mehr und mehr verdreht werden, aber so, dass die Bogen der gekrümmten Linien nach einwärts sehen, mithin die entgegengesetzte Richtung haben, als in dem nämlichen Netze, wenn dasselbe wie in Fig. 53 als Luftbild gesehen wird.

Fig. 53.



Die Wölbung der Fläche, in der das Bild projicirt wird, ist jedoch nicht die alleinige, ja bei Linsen von etwas grösserem Durchmesser nicht einmal die hauptsächlichste Ursache, warum das Bild gekrümmt und zugleich unregelmässig vergrössert erscheint.

Man betrachte nur mit einer Lupe ein in vierseitige Maschen getheiltes Feld, wie Fig. 51. Rückt man aus der Stellung, wo die mittleren Maschen scharf wahrgenommen werden, die Linse immer näher aus Maschenfeld, bis die Randlinien des Gesichtsfeldes scharf sich darstellen, die centralen Linien dagegen diffus erscheinen, so erkennt man an den ersteren immer noch eine erhebliche Auswärtsbeugung. Hält man das Auge nicht über der Mitte der Linse, sondern nach aussen davon, so dass in schiefer Richtung hindurch gesehen wird, dann haben alle Linien das Gebogene, und zwar sind die horizontal verlaufenden alle in der nämlichen Richtung gebogen, indem sie die Biegung dem Auge zuwenden; die Krümmung aber nimmt immer mehr zu, je weiter das Auge aus der Linsenaxe rückt und in je schieferer Richtung durch die Linse gesehen wird. Darin liegt aber gerade der Schlüssel zur Erklärung dieser Er-

Digitized by Google

scheinung. Uebertrifft nämlich der Durchmesser der Linse jenen der Pupille in entschiedener Weise, dann kommen ausser jenen Strahlenbündeln, die durch den mittlern der Pupillengrösse entsprechenden Linsentheil treten, auch noch andere schiefgerichtete Strahlenbündel ins Auge. Dieselben sind durch die nebenliegenden peripherischen Linsentheile gegangen, und sie veranlassen das Gebogene.

Man kann sich diese Wirkung auch an einem Glasprisma klar machen, wodurch man das gebrochene Bild einer geraden Linie, wie etwa den Rand eines Buchs, betrachtet. Diese Linie zeigt ebenfalls eine Krümmung, und die Krümmung nimmt zu oder verringert sich, jenachdem das Auge dem Prisma näher rückt oder sich davon entfernt, d. h. also, je nachdem die ins Auge tretenden Strahlenbündel in mehr oder weniger schiefer Richtung auffallen. Eine Linse kann man sich aber als eine Vereinigung ringförmiger Prismen denken, von denen die zumeist ausserhalb der Axe gelegenen die Strahlen in schiefster Richtung zum Auge gelangen lassen.

Ist diese Erklärung begründet, so wird bei Benutzung stärkerer Linsen, wobei doch natürlicher Weise die Wölbung des Gesichtsfeldes zunimmt, keine entsprechend zunehmende Krümmung auftreten, weil nämlich diese stärkeren Linsen einen kleineren Durchmesser besitzen. Steht der Durchmesser der Linse hinter jenem der Pupille zurück, dann kommt jenes Moment der Bildkrümmung, welches im schiefen Durchtritte der Strahlenbündel durch die Randpartien begründet ist, ganz in Wegfall, und nur das andere nicht so intensive Moment ist noch wirksam, nämlich die Wölbung des Luftbildes. Dass dem so sei, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man ein in Quadrate getheiltes Glasmikrometer mit Linsen betrachtet, die über 100 Mal im Durchmesser vergrössern. Selbst wenn ein stark vergrösserndes Glaskügelchen statt einer solchen Linse genommen wird, so erkennt man noch zunächst den Rändern des Gesichtsfeldes eine unbedeutende Krümmung.

Aus dieser Betrachtung ergiebt sich soviel, dass uns in der Krümmung des Gesichtsfeldes bei Benutzung der Lupe und des einfachen Mikroskops eine zusammengesetzte Erscheinung entgegentritt, bedingt durch zwei ganz verschiedene ursächliche Momente, die zwar bei einer gewissen Höhe und in der Endwirkung zusammentreffen, aber nur scheinbar die gleiche Wirkung haben. Das eine Moment, die Wölbung des Luftbildes nämlich, ruft eine Krümmung in der senkrechten Linie hervor, während das andere Moment, der schiefe Gang der Strahlenbündel in den Randtheilen der Linse, eine Krümmung in der Horizontalebene zu Wege bringt. Ferner ergiebt sich, dass das letztgenannte Moment beim einfachen Mikroskope, wo Linsen mit sehr kleinem Durchmesser in Gebrauch sind, fast nicht in Betracht kommt, während es bei Linsen von grösserem Durchmesser, obwohl dieselben nicht gleich stark gekrümmt sind, von grösserem Einflusse ist.

Digitized by Google

Diesen Einfluss werden wir aber weiterhin bei den Ocularen der zusammengesetzten Mikroskope kennen lernen *).

110 Was oben (§. 39) über den verschiedenen Gang der durch eine Sammellinse gebrochenen Strahlen mitgetheilt wurde, je nachdem das Object im Hauptbrennpunkte, oder vor oder hinter demselben sich befindet, ist genügend, um mit Leichtigkeit die Stelle zu bestimmen, wo ein Object hinkommen muss, damit seine Strahlen nach dem Durchtritte durch die Linse die bestimmte Richtung annehmen, bei welcher ihre Vereinigungspunkte auf die Netzhaut treffen. Für verschiedene Augen muss aber nothwendiger Weise hier eine Verschiedenheit sich geltend machen, da die Entfernung, in welcher man gewöhnlich deutlich sieht und die dem gewöhnlichen Accommodationszustande des Auges entspricht, für Jedermann eine andere ist. Bei einem Fernsichtigen z. B. mit 40 Centimeter mittlerer Sehweite werden die ins Auge eintretenden Strahlen auffallend weniger divergent werden müssen als bei einem anderen, der kurzsichtig ist und für gewöhnlich auf 10 Centimeter Entfernung scharf und deutlich sieht. Bei beiden wird das Object zwischen dem Hauptbrennpunkte und der Linse liegen müssen; der erstere indessen wird dasselbe dem Hauptbrennpunkte näher bringen müssen als der letztere. Im Allgemeinen gilt als Regel, je fernsichtiger Jemand ist, um so mehr muss das Object dem Brennpunkte der Linse genähert sein, und wenn die Entfernung des deutlichen Sehens eine unendlich grosse wäre, so dass das Auge parallel auffallende Strahlen am besten sähe, dann müsste das Object gerade in den Brennpunkt kommen. Dies kommt aber nur äusserst selten vor und keineswegs als die Regel, wie von manchen Autoren mit Unrecht angegeben worden ist.

111 Aus dem bisher Angeführten ergiebt sich, dass die durch eine Linse erreichte Vergrösserung niemals eine **absolute** ist, sondern stets nur eine **relative**; sie wird mitbedingt von dem Auge, welches durch die Linse sieht.

Wer gewohnt ist, alles, was er deutlich sehen will, 10 Centimeter vom Auge zu halten, ist auch daran gewöhnt, alle dergleichen Objecte viermal grösser zu sehen, als ein anderer, der die Dinge am liebsten 40 Centimeter vom Auge hält. Die mittlere Sehweite des Auges ist es also, die bei der Berechnung, wie Mikroskope vergrössern, jedesmal zu

---

*) In der ersten Ausgabe wurde die Krümmung des Gesichtsfeldes einzig blos aus der Wölbung des Luftbildes hergeleitet. Das ist ein Irrthum, wie in der schätzbaren Schrift von **Naegeli** und **Schwendener** (*Das Mikroskop*, 1865. I. S. 53 u. 58) dargethan wurde. Indessen kann ich mich der von diesen gegebenen Erklärung der Sache nicht anschliessen, und habe ich eine, wie ich glaube, richtigere an deren Stelle gesetzt.

Google

Grunde gelegt werden muss. Streng genommen sollte die Entfernung des Nähepunktes zu dieser Bestimmung genommen werden, weil bis zu diesem hin das Auge vollkommen im Stande ist, durch blosses Accommodationsvermögen die Bilder mit Schärfe auf die Netzhaut zu bringen. Da indessen der Zustand, worin das Auge alsdann sich befindet, stets ein gezwungener und ungewohnter ist, so erscheint es zweckmässiger, die Vergrösserung für jene mittlere Sehweite zu berechnen, welche dem gewöhnlichen Zustande des Auges beim Sehen am meisten entspricht. Dass aber diese auch sehr verschieden ist, weiss Jedermann. Nun ist diese Verschiedenheit auch von Einfluss auf den Ort, welchen das Object im Verhältniss zur Linse einnimmt, und so ergiebt es sich, dass die von vielen gegebene Vorschrift, man solle, um die Vergrösserung aufzufinden, die mittlere Sehweite des Auges durch die Brennweite der Linse dividiren, nicht ganz genau sein kann. Dies folgt schon daraus, weil man bei diesem Verfahren zu der durchaus falschen Folgerung kommen würde, dass Linsen, deren Brennweite grösser ist als die mittlere Sehweite, nicht vergrössernd sondern verkleinernd wirken. Ein genaues Resultat erhält man aber, wenn man beiderlei Entfernungen addirt und die Summe durch die Brennweite dividirt.

Ein Paar Beispiele mögen zur Erläuterung dienen. Für A, dessen mittlere Sehweite $= 162^{mm}$ gefunden wurde (§. 66), giebt eine Linse von 10^{mm} Brennweite eine Vergrösserung von $\frac{172}{10}$ oder 17,2. Für B dagegen, dessen mittlere Sehweite $= 372^{mm}$ gefunden wurde (§. 66), vergrössert die nämliche Linse $\frac{382}{10}$ oder 38,2mal.

Berechnet man die Grösse der Netzhautbildchen für Augen mit ungleicher mittlerer Sehweite, so ergiebt sich hieraus, dass auch das absolute Maass der Vergrösserung durch eine und dieselbe Linse verschieden ausfallen kann. Gesetzt, die Grösse des Objectes wäre 1^{mm}, die Entfernung des Kreuzungspunktes von der Hornhaut betrüge 10^{mm} und von der Netzhaut 14^{mm}, dann wird das Netzhautbildchen im Auge des kurzsichtigen A $1{,}384^{mm}$ und in jenem des fernsichtigen B $1{,}393^{mm}$ gross sein.

Wenn sich das Object nicht in dem Brennpunkte befindet, sondern 112
diesseits desselben, so muss die Brennweite um eine bestimmte Grösse verkleinert werden, wenn man die wahre Entfernung des Objectes von der Linse haben will. Man findet dieselbe, wenn man das Quadrat der Brennweite mit der Summe der mittleren Sehweite und der Brennweite dividirt. In den eben angeführten Beispielen ist also die Entfernung für $A = 10 - \frac{100}{172} = 9{,}42^{mm}$, für $B = 10 - \frac{100}{382} = 9{,}74^{mm}$. Das Ob-

ject ist also bei B 0,32^{mm} weiter von der Linse, oder mit anderen Worten vom Auge entfernt als bei A*).

113 Die vergrössernde Kraft einer Linse lässt sich, wie wir sahen, leicht berechnen, wenn man ihre Brennweite kennt. Nach dem oben Angegebenen (§. 38) lässt sich diese Brennweite berechnen, wenn man das Brechungsvermögen des Mediums der Linse sowie die Krümmnng ihrer Oberfläche kennt. Bei Linsen indessen, wie sie gewöhnlich bei Mikroskopen in Anwendung kommen, ist es nicht möglich, die Form mit hinreichender Genanigkeit zu bestimmen, um sie der Berechnung zu Grunde zu legen. Hier muss also ein anderes Verfahren eingeschlagen werden. In Fällen, wo keine vollkommene Genauigkeit erforderlich ist und wo die Brennweite noch 1 Centimeter oder mehr beträgt, kann man sich damit begnügen, das Sonnenbild durch die Linse auf einen Schirm auffallen zu lassen und die Entfernung zu messen, bei welcher dieses Bildchen am kleinsten und am schärfsten sich darstellt. Man addirt zu dieser Entfernung noch jene der Linsenoberfläche bis zum optischen Mittelpunkte, bei biconvexen Linsen mit gleichen Krümmungen also die halbe Dicke der Linse, und die so erhaltene Entfernung kann man als die wahre Brennweite betrachten, weil die Sonnenstrahlen nahezu parallel sind.

Statt der Sonne kann man auch jeden anderen leuchtenden Körper, z. B. die Flamme einer Kerze benutzen. Misst man die Entfernung der Linse vom Bilde sowohl wie von der Flamme, multiplicirt die erhaltenen Werthe mit einander und dividirt das Product durch die Summe beider, so ist der erhaltene Quotiont die gesuchte Brennweite für parallele Strahlen. Ist also a die Entfernung von der Linse bis zum leuchtenden Objecte, b die Entfernung von der Linse bis zum Bilde, dann ist die Brennweite $p = \frac{ab}{a + b}$.

114 Ist die Brennweite sehr verkürzt, dann reichen die erwähnten Methoden nicht mehr aus und man muss sich auf andere Weise zu helfen suchen. Goring (*Micrographia, containing practical essays etc.* by C. R. Goring and Andrew Pritchard. 1837, p. 35) hat sich eines Verfahrens bedient, welches auch durch Mohl (*Mikrographie oder Anleitung zur Kenntniss und zum Gebrauche des Mikroskopes*, 1846, S. 15) anempfohlen worden ist. Die Linse nämlich, deren Brennweite bestimmt werden

---

*) Mathematisch ausgedrückt ist die Vergrösserung $m = \frac{v + p}{p}$ oder, was das Nämliche ist, $\frac{v}{p} + 1$, die Entfernung des Objectes von der Linse aber ist $= p - \frac{p^2}{v + p}$, wo v die mittlere Sehweite und p die Brennweite bezeichnet.

Digitized by Google

soll, benutzt man als Ocular eines Teleskops, und mit einem Ramsden-schen Dynameter misst man die stattfindende Vergrösserung. Zuerst bestimmt man die Brennweite des Objectivglases oder des Spiegels, zu welchem Ende man, um den Brennpunkt für parallele Strahlen zu finden, das Bild der Sonne auffangen kann. Dividirt man dann die Brennweite des Objectivglases mit der Vergrösserung, welche das Dynameter angiebt, so ist der Quotient die gesuchte Brennweite der Linse, welche als Ocular eingesetzt war. Hätte man z. B. die Brennweite des Objectivglases oder des Spiegels = 2,5 Meter gefunden, und der Rahmen des davor befindlichen Dynameters hätte eine Oeffnung von $81{,}6^{mm}$, das mit dem Dynameter gemessene Bild aber hätte $1{,}55^{mm}$ Durchmesser, dann vergrössert das Fernrohr $\frac{81{,}6}{1{,}55} = 52{,}6$mal, und die als Ocular gebrauchte Linse hat $\frac{2500}{25{,}6} = 47{,}5^{mm}$ Brennweite.

Diese Methode giebt nothwendiger Weise sehr genaue Resultate. Indessen passt sie nicht mehr bei Linsen mit sehr kurzer Brennweite, die dem zu Folge auch nur eine kleine Oeffnung haben; denn diese lassen zu wenig Licht durch, als dass sie noch als Oculare benutzt werden könnten. Hat man aber für Eine Linse die Brennweite mit grosser Genauigkeit bestimmt, dann kann diese Bestimmung dazu benutzt werden, die Brennweite anderer Linsen zu finden. Man verwendet nämlich jene Linse, deren Brennweite gefunden worden ist, als Objectivglas eines zusammengesetzten Mikroskops, in dessen Ocular ein Mikrometer eingefügt ist. Durch dieses Mikroskop betrachtet man nun ein anderes Mikrometer und untersucht, wie viele Maasstheile des ersten Mikrometers auf einen Maasstheil des letzteren kommen. Oder man lässt auch das Mikrometer im Ocular weg und zählt blos, wie viele Maasstheile des als Object benutzten Mikrometers im Gesichtsfelde des Mikroskops liegen. Gebraucht man dann eine andere Linse, deren Brennweite bestimmt werden soll, als Objectivglas in dem nämlichen Mikroskope (wobei natürlich Sorge getragen werden muss, dass die Entfernung des optischen Mittelpunktes der Linse vom Ocular immer so viel möglich die nämliche ist) und zählt man ab, wie viele Maasstheile des Objectmikrometers im Gesichtsfelde oder in einem Maasstheile des Ocularmikrometers enthalten sind, so lässt sich hieraus mit Leichtigkeit berechnen, wie die vergrössernde Kraft der beiden Linsen sich zu einander verhält. Würden mit der Linse, deren Brennweite bekannt ist, 50 Einheiten jenes nach einem bestimmten Maasse eingetheilten Mikrometers im Gesichtsfelde wahrgenommen, und mit drei anderen Linsen, die statt ihrer der Reihe nach als Objectivlinsen gebraucht werden, würden 100, 10 und 5 Einheiten in der Breite des Gesichtsfeldes wahrgenommen, so verhält sich die vergrössernde Kraft der ersten Linse zu jener der drei anderen Linsen wie

Digitized by Google

50:100, 50:10 und 50:5 (0,5:1, 5:1, 10:1), d. h. von den drei geprüften Linsen vergrössert die erste nur halb so viel als die Probelinse, die zweite aber vergrössert fünfmal und die dritte zehnmal mehr. Da nun die vergrössernde Kraft in gleichem Verhältniss zunimmt, als die Brennweite abnimmt, so würden, wenn die Brennweite der Probelinse mit dem Dynameter = 47,5^{mm} gefunden worden wäre, die Brennweiten der drei untersuchten Linsen 05^{mm}, 9,5^{mm} und 4,75^{mm} betragen.

115 Es giebt aber noch einen anderen Weg, um die Brennweite so kleiner Linsen zu ermitteln; man erhält dadurch eben so genaue Resultate, als bei Anwendung des Dynameters und dabei bietet sich noch der Vortheil, dass dieses Verfahren ebenso gut bei Linsen mit sehr kurzer Brennweite wie bei jenen mit längerer Brennweite anwendbar ist. Dazu ist es nöthig, dass man mittelst der Linse, deren Brennweite bestimmt werden soll, das Bild eines als Object benutzten Mikrometers auf einem Schirme auffängt, der sich in einer bekannten Entfernung davon befindet. Am besten benutzt man dazu das später zu beschreibende tragbare Sonnenmikroskop, oder auch sonst ein gewöhnliches Sonnenmikroskop. Wer übrigens keins von beiden besitzt, der kann auch das Rohr eines gewöhnlichen zusammengesetzten Mikroskopes nehmen, aus dem das Ocular weggenommen und durch ein mattes Glas ersetzt worden ist, und als dessen Objectiv die Linse dient, deren Brennweite bestimmt werden soll. Sind die Linsen nicht gar zu klein, so kann man zur Beleuchtung auch die Hydrooxygengasflamme oder Kalk benutzen, ja bei grösseren Linsen selbst die Flamme einer gewöhnlichen Argand'schen Lampe. Hat man ein ganz scharfes Bild des Mikrometers auf dem Schirme, so misst man die Grösse der Theilungseinheiten und daraus erkennt man dann unmittelbar die Vergrösserung, welche durch die Linse bei dieser Entfernung zu Stande kommt. Um nun hieraus die Brennweite zu berechnen, muss man zunächst die Entfernung des Objectes, hier also des Mikrometers, von der Linse kennen. Diese wird dadurch gefunden, dass man den bekannten Durchmesser des Objectes mit der Entfernung zwischen Bild und Linse multiplicirt und das Product mit dem Durchmesser des Bildes dividirt.

Ein Object z. B. von 0,5^{mm} Durchmesser soll auf einem Schirme, der in 250^{mm} Entfernung aufgestellt ist, ein Bild von 110^{mm} Grösse erzeugen, dann ist der gesuchte Abstand des Objectes von der Linse $= \frac{250 \cdot 0{,}5}{110} = 1{,}136^{mm}$. Diese Entfernung ist indessen nicht die wahre Brennweite der Linse, sondern etwas grösser; denn wenn ein Gegenstand ein Bild hervorbringen soll, so muss er sich ausserhalb des Hauptbrennpunktes der Linse befinden (§. 42). Um aus der gefundenen Entfernung die wahre Brennweite zu berechnen, multiplicirt man die Entfernung des Bildes von der Linse mit der Entfernung des Objectes von der Linse,

Digitized by Google

und dividirt das Product durch die Summe der beiden Entfernungen. Darnach wäre die Brennweite der Linse in dem angeführten Falle $= \frac{250 \,.\, 1{,}136}{251{,}136} = 1{,}131^{mm}$. Der Unterschied zwischen dem Abstande des Objectes von der Linse und der wahren Brennweite beträgt in diesem Falle $0{,}005^{mm}$, ist also so gering, dass man ihn hier ganz vernachlässigen kann. Für die Bestimmung der Brennweite stark vergrössernder Linsen genügt es vollkommen, wenn man bei der Berechnung den erstern Abstand zu Grunde legt *).

Kommt es blos darauf an, die Vergrösserung der Linse in einem einfachen Mikroskope ausfindig zu machen und wird dabei keine gar zu grosse Genauigkeit erfordert, dann genügt es, die Grösse des Bildes auf dem Schirme für jene Entfernung, die man als die normale mittlere Sehweite annimmt, zu messen, z. B. für 25 Centimeter oder für irgend eine andere Entfernung, die man bei Berechnung der Vergrösserungen zu Grunde zu legen vorzieht.

Kommt der Schirm auch genau in die Entfernung, die man dem 116
Augenabstande, für welchen alle Vergrösserungen bestimmt werden sollen, entsprechend annimmt, so darf man doch nicht vergessen, dass die gefundene Zahl nur annäherungsweise genau ist. Ein Object, das man durch die Linse betrachtet, muss sich innerhalb des Brennpunktes befinden; wenn aber in einem Sonnenmikroskope oder in einem anderen Mikroskope ein Bild davon entstehen soll, so muss es stets etwas ausser-

---

*) Ist der Durchmesser des Objectes $= h$, jener des Bildes $= d$, die Entfernung des Bildes vom Mittelpunkte der Linse $= b$, und die Entfernung des Objectes vom Mittelpunkte der Linse $= a$, dann ist $a = \frac{bh}{d}$ und die wahre Brennweite $p = \frac{ab}{a + b}$.

Man kann die Sache mit Naegeli u. Schwendener (*Das Mikroskop* I. S. 176) umkehren, in den Brennpunkt der Linse (des Linsensystems) das Bildchen eines entfernten Objectes versetzen, dessen Grösse und Entfernung man kennt, und die Grösse dieses Bildchens mikrometrisch bestimmen. Zu dem Ende kommt die Linse (das Linsensystem) auf den Objecttisch des Mikroskopes, so dass die Axe mit der Axe des Mikroskopes zusammenfällt, und das Bild des entfernteren Objectes von bekannter Grösse wird durch horizontale Stellung des Mikroskopes oder mittelst des ebenen Spiegels aufgefangen. Man soll dazu eine über einer Kerzenflamme geschwärzte Glasplatte nehmen. Besser noch ist es, wenn man einen Spalt in einem geschwärzten Bleche benutzt, durch den das Licht einfällt.

Zur Bestimmung des Brennpunktes des Objectivsystems eines zusammengesetzten Mikroskopes kann man nach Thury (*Bibl. universelle, Archives générales. Août* 1860) folgendes Verfahren einschlagen. Man nimmt zwei conforme Glasmikrometer, bringt das eine auf den Objecttisch, das andere aber ins Ocular und ermittelt, wie viele Theile des letztern auf eine Abtheilung des ersteren treffen. Bezeichnet man diese Zahl als n, den Abstand der beiden Mikrometer aber als d, dann ist der Brennpunkt der äquivalenten Linse $= \frac{d}{n + 1}$.

Digitized by Google

halb des Brennpunktes zu stehen kommen. Daher rührt es, dass der Werth der auf letzterem Wege erhaltenen Vergrösserung immer etwas zu niedrig ausfällt. Ich will dies auch wieder durch ein Beispiel erläutern. Wir sahen vorhin, dass ein Object von $0{,}5^{mm}$ Durchmesser mit einer Linse von $1{,}131^{mm}$ Brennweite bei einer Entfernung von 25 Centimeter ein Bild erzeugt, das 110^{mm} Durchmesser hat. Es vergrössert also diese Linse, wenn sie in einem Bildmikroskope gebraucht wird, $\frac{110}{0{,}5}$ = 220mal. Berechnet man aber nach der früher (§. 111) besprochenen Methode die vergrössernde Kraft dieser nämlichen Linse, wenn sie zu einem einfachen Mikroskope benutzt wird, so erhält man für eine mittlere Sehweite von 25 Centimeter $\frac{251{,}131}{1{,}131}$ oder eine 222malige Vergrösserung. Wo es demnach auf grössere Genauigkeit ankommt, das Vergrösserungsvermögen etwa zu vergleichenden Messungen benutzt werden soll, da darf man sich nicht lediglich auf das gefundene Verhältniss zwischen den Durchmessern des Objectes und des Bildes verlassen.

117 Das einfachste Verfahren, um die vergrössernde Kraft von Linsen sowohl als von Mikroskopen im Allgemeinen (Bildmikroskope ausgenommen) zu bestimmen, wodurch bei einiger Uebung und Geduld sehr genaue Resultate erhalten werden können, besteht darin, dass man mit Einem Auge durch das Mikroskop nach einem Gegenstande sieht, dessen Grösse bekannt ist, z. B. auf die Theilungen eines Glasmikrometers, und mit dem anderen Auge auf einen zur Seite des Mikroskopes in der Entfernung des deutlichen Sehens befindlichen Maassstab oder auf einen Cirkel, womit man den Durchmesser des scheinbaren Bildes nimmt. Später werde ich auf dieses Verfahren zurückkommen und dann zugleich die Vorsichtsmaassregeln angeben, die dabei zu beobachten sind.

118 Hat man auf diese Weise oder durch ein anderes Verfahren das Vergrösserungsvermögen einer Linse für eine bestimmte mittlere Sehweite gefunden, so lässt sich aus diesem wiederum die Brennweite berechnen. Es ist nämlich die Brennweite $p = \frac{v}{m-1}$, wo v die mittlere Sehweite und m die gefundene Vergrösserung bezeichnet, d. h. die Brennweite wird durch den Quotienten ausgedrückt, der die mittlere Sehweite zum Dividenden, die um eine Einheit verminderte Vergrösserung zum Divisor hat. So würde eine Linse, die bei einer Deutlichkeitsentfernung von 162^{mm} 17,2 Male vergrössert, eine Brennweite von $\frac{162}{17{,}2 - 1} = 10^{mm}$ haben.

Bei den bisherigen Angaben über die Vergrösserung durch Linsen 119
wurde der Fall vorausgesetzt, der in Wirklichkeit niemals vollständig eintritt, dass nämlich die Linse dicht ans Auge gehalten wird und dass dieselbe ausserdem auch keine Dicke besitzt. Dass der Abstand zwischen Auge und Linse auf die Vergrösserung von Einfluss ist, ergiebt sich schon aus dem früher Mitgetheilten, wornach die Vergrösserung zum Theil im Auge selbst begründet ist und mithin die Vergrösserung beim Gebrauche der nämlichen Linse verschiedenartig ausfallen muss, sobald sich die Entfernung des Auges vom Objecte abändert. Man braucht nur Fig. 50 (S. 95) zu betrachten, um zu sehen, dass der Gesichtswinkel $a''ob''$ grösser werden würde, wenn die Linse AB zugleich mit dem Objecte näher dem Auge gebracht würde. Uebrigens aber kann man sich von der Richtigkeit der Sache auf sehr einfache Weise überzeugen.

Am besten nimmt man dazu eine Linse, die 2 bis 3 Centimeter Brennweite hat. Man hält eine solche Linse dicht vor das Auge und blickt durch sie auf die Buchstaben eines Buches, welches in solcher Entfernung gehalten wird, dass die Buchstaben deutlich und scharf hervortreten. Entfernt man dann das Auge, während die Linse immer gleich weit vom Buche bleibt, so werden die Buchstaben scheinbar grösser, weil ein Diffusionsbild auf der Netzhaut entsteht, dem das frühere scharfe Bild an Grösse nachsteht. Sollen bei dieser grösseren Entfernung des Auges die Buchstaben wiederum gleich scharf und deutlich hervortreten wie früher, so muss man die Linse dem Buche etwas näher bringen; die Vergrösserung wird dann nicht mehr so bedeutend sein wie früher.

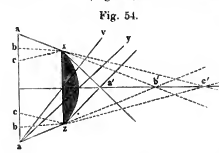
Hieraus folgt nun, dass es nicht ohne Einfluss auf die vergrössernde Kraft einer Linse ist, wie dieselbe eingefasst wurde, und dass man als allgemeine Regel aufstellen darf, die mechanische Einrichtung zum Fassen einer für ein einfaches Mikroskop bestimmten Linse müsse der Art sein, dass die möglichste Annäherung der Linse ans Auge gestattet wird. In allen jenen Fällen, wo eine Linse nur die Bestimmung hat, ein Bild des Objectes zu liefern, wie in zusammengesetzten dioptrischen Mikroskopen, in Sonnenmikroskopen u. s. w., ist es freilich ganz einerlei, ob die Röhre, in welche die Linse gefasst wurde, kurz oder lang ist, wenn nur ihre Ränder den Strahlen nicht den Weg abschneiden; dagegen bei den Linsen der einfachen Mikroskope ist es ein dringendes Erforderniss, dass ihre Röhren so abgeplattet als möglich und etwas ausgehöhlt sind. In der That sieht man auch bei allen neueren einfachen Mikroskopen diese Form in Anwendung gebracht.

Aber nicht blos der Vergrösserung halber, sondern hauptsächlich 120
auch aus einem anderen Grunde verdient diese Form den Vorzug. Je näher dem Auge die Linse gehalten wird, um so grösser ist das Gesichts-

Digitized by Google

feld. Wird aa (Fig. 54) durch die Linse xz betrachtet, während das Auge in a' befindlich ist, so wird das Object aa vollständig übersehen, denn die Strahlen ax und az, welche den Endpunkten desselben entsprechen, werden nach dem Durchtritte durch die Linse nach a' gebrochen und erreichen also das hier befindliche Auge. Entfernt sich dieses weiter von der Linse nach b', so kann es die beiden Enden des Objectes aa nicht mehr wahrnehmen, denn selbst die äussersten von diesen Punkten ausgehenden Strahlen, welche noch auf die Linse treffen, gehen in der Richtung xa' und za' links und rechts am Auge vorbei; die übrigen Strahlen aber, welche von den nämlichen Punkten a ausgehen, erreichen das Auge noch weniger, da sie parallel mit za' nach ay und av gebrochen werden. Das in b' befindliche Auge sieht nur noch den Abschnitt bb des Objectes aa, denn die Strahlen xb' und zb', welche den Punkten bb entsprechen, sind die am meisten von der Mitte entfernten, die das Auge noch erreichen können. Alle zwischen a und b liegenden Punkte sind für das Auge unsichtbar. Das in c' befindliche Auge endlich erblickt nur jenen zwischen c und c befindlichen Abschnitt des Objectes u. s. w.

Fig. 54.



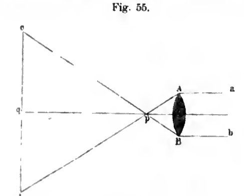
Hieraus ergiebt sich nun, dass die durch eine Linse sichtbare Fläche oder, mit anderen Worten, das Gesichtsfeld um so grösser sich darstellt, je kürzer die Entfernung zwischen Auge und Linse ist, und am grössten dann, wenn beide einander unmittelbar berühren.

121 Die Grösse des Gesichtsfeldes ist aber ausserdem noch von der Oeffnung der Linse abhängig. Bei Linsen von mässigem Durchmesser genügt es, diesen Durchmesser der Linse oder den Durchmesser ihres unbedeckten Theiles zu messen. Bei sehr kleinen Linsen dagegen muss ein anderer Weg eingeschlagen werden. Am besten kommt man zum Ziele, wenn man parallele Lichtstrahlen, z. B. von der Sonne, und bei sehr kleinen Linsen concentrirtes paralleles Licht auf die Linse fallen lässt, wie a und b in Fig. 55. Diese werden sich hinter der Linse im Brennpunkte p kreuzen, und wenn dann in einiger Entfernung von der Linse ein Schirm aufgestellt wird, so entsteht auf diesem ein vergrössertes Bild der Linsenöffnung, oder eigentlich ein Diffusionsbild der Sonne. Wird der Schirm in der Entfernung pq vom Kreuzungspunkte gehalten, so hat man in cd den Durchmesser des vergrösserten Bildes. Der Versuch muss natürlich in einem dunkeln Raume angestellt werden. Die Ränder des solcher-

Digitized by Google

gestalt auf dem Schirme aufgefangenen Lichtkreises sind freilich nicht ganz scharf; ist indessen die Entfernung nicht zu gross, so lässt sich der Durchmesser noch mit ziemlicher Genauigkeit feststellen. Aus der Figur ersieht man aber deutlich, dass dieser Durchmesser jenen der Linse um so viel übertrifft, als *pq* oder die Entfernung des Brennpunktes vom Schirme grösser ist als die Brennweite *op*. Hat man also vorher nach dem früher (§. 115) angegebenen Verfahren die Brennweite bestimmt, so lernt man durch eine einfache Berechnung den Durchmesser der Linsenöffnung kennen.

Fig. 55.



Die Grösse des Oeffnungswinkels, hier also *ApB*, lässt sich ebenfalls durch Berechnung leicht ausfindig machen*). Für praktische Zwecke, sobald es nicht auf die äusserste Genauigkeit ankommt, kann man sich damit begnügen, den gefundenen Durchmesser der Linse sowie deren Brennweite (oder Multipla derselben, wenn beide sehr klein sind) auf ein Papier zu bringen und dann die Linien *Ad* und *Bc* durch den Brennpunkt *p* zu ziehen. Der Winkel *cpd*, der dem Winkel *ApB* gleich ist, kann dann mit einem Gradbogen gemessen werden.

Beträgt z. B. die Brennweite der Linse 10^{mm}, die Entfernung vom Schirme 50^{mm}, der Durchmesser des Lichtkreises 44^{mm}, dann ist der Durchmesser der Linse $\frac{44 \cdot 10}{50 - 10}$ oder 11^{mm}. Trägt man diese Data auf genannte Weise aufs Papier über, so wird man einen Oeffnungswinkel von etwa 58^0 erhalten.

Neben der vergrössernden Kraft und dem Gesichtsfelde ist bei der Verwendung von Linsen zu einem einfachen Mikroskope noch auf einen anderen Umstand zu achten, nämlich auf das Maass der Lichtstärke oder der Helligkeit, welche die dadurch betrachteten Objecte besitzen, oder 122

*) Ist der Oeffnungswinkel $= Q$, der Durchmesser der Linse $= d$, die Brennweite $= p$, die Entfernung von der Linse bis zum Schirme $= a$, der Durchmesser des erhaltenen Kreises endlich $= b$, dann ist

$$d = \frac{bp}{a - p} \text{ und } tang. \tfrac{1}{2} Q = \frac{d}{2p}.$$

Digitized by Google

mit anderen Worten auf die Lichtmenge, welche durch die Linse zum Auge gelangt.

Beim gewöhnlichen Sehen hängt die Helligkeit eines Sehobjectes zunächst von dem Beleuchtungsgrade desselben ab, zweitens aber auch von der Oeffnung der Pupille. Je mehr Strahlen nämlich von einem leuchtenden Punkte ins Auge gelangen können, um so heller erscheint derselbe. Erweitert sich die Pupille, so wird mehr Licht hindurchtreten, und da die Erweiterung in einer Ebene und gleichmässig nach allen Richtungen stattfindet, so nimmt die Lichtmenge im quadratischen Verhältniss des Pupillendurchmessers zu oder ab. Durch eine Pupille z. B. von 4^{mm} Durchmesser dringt viermal mehr Licht, als wenn dieselbe auf 2^{mm} Durchmesser verengt ist.

Das Nämliche gilt von Linsen, die zwischen dem Auge und einem Objecte befindlich sind. Bei so kleinen Linsen, wie die, wovon hier die Rede ist, kann man ohne erhehlichen Irrthum annehmen, dass der Durchmesser der Linse gleich ist jenem des Strahlenbüschels, welches auf die Linse fällt, und hieraus folgt wieder, dass die Lichtstärken zweier Linsen sich wie die Quadrate ihrer Durchmesser verhalten.

Um nun einen Maassstab für die Erhellung der Objecte zu haben, welche durch eine solche Linse gesehen werden, vergleicht man damit die Erhellung der nämlichen Objecte beim Betrachten mit blossem Auge: die Erhellung des mit blossem Auge betrachteten Objectes verhält sich zu jener des durch eine Linse vergrösserten Objectes, wie das Quadrat des Pupillendurchmessers zum Quadrate des Linsendurchmessers. Ist der Linsendurchmesser gleich dem Pupillendurchmesser, dann ist die Erhellung des durch die Linse gesehenen Objectes, wenn man von dem geringen Verluste beim Durchgange durch die Linse selbst absieht, gleich der Erhellung des nämlichen Objectes beim Betrachten mit blossem Auge; in dem Maasse aber, als die Vergrösserung der Linse zunimmt, ihr Durchmesser oder ihre Oeffnung also abnimmt, vermindert sich auch die Erhellung in starkem Maasse. Zur Erläuterung diene folgende von Littrow (*Dioptrik*, S. 379) berechnete Tabelle, worin der Pupillendurchmesser zu 0,1 Par. Zoll (etwa $2{,}7^{mm}$) angenommen wird, der Durchmesser der Linsen aber für den Fall berechnet ist, wo beide Flächen so gekrümmt sind, dass die geringste sphärische Aberration eintritt. Die Vergrösserungen sind für eine Sehweite von 8 Par. Zoll berechnet. Sie würden sich etwas anders herausstellen, wenn sie nach der im §. 111 angegebenen Methode berechnet wären und nicht einfach dadurch, dass man die Sehweite durch die Brennweite dividirt, wie es Littrow gethan hat.

Digitized by Google

Vergrösserung.	Brennweite in Pariser Zollen.	Durchmesser der Linsenöffnung in PariserZollen.	Grad der Erhellung.
8	1,000	0,100	1,000
10	0,800	0,080	0,800
20	0,400	0,040	0,400
40	0,200	0,020	0,200
60	0,133	0,013	0,133
80	0,100	0,010	0,100
100	0,080	0,008	0,080
120	0,060	0,006	0,060
140	0,057	0,006	0,057
160	0,050	0,005	0,050

Man ersieht hieraus, dass die Helligkeit gleichmässig mit der Brennweite abnimmt. Eine Linse, welche zwanzigmal stärker vergrössert, als eine andere, bewirkt auch eine zwanzigfache Abnahme der Lichtstärke des Objectes. Daraus ergiebt sich aber die Nothwendigkeit, dass man bei Anwendung kleiner Linsen die Lichtstärke der Objecte künstlich vermehren muss.

Uebrigens ist der Grad der Helligkeit auch nach der Form der Linsen ein verschiedener. Linsen von der besten Form und biconvexe Linsen mit gleicher Krümmung beider Oberflächen verhalten sich nach Littrow in Betreff der Helligkeit zu einander etwa wie 8 : 7, wenn die Länge der sphärischen Aberration bei beiden gleich ist.

Benutzt man Glaskugeln statt der Linsen, so wird man finden, dass bei gleicher Vergrösserung die Helligkeit bei den Glaskugeln etwas grösser ist. Dies ergiebt sich aus der Vergleichung der folgenden von Euler (*Dioptrica*, Cap. 1. Probl. 4) berechneten Tabelle mit der vorstehenden.

Digitized by Google

Vergrösserung.	Brennweite in Pariser Zollen.	Durchmesser der Kugel in PariserZollen.	Grad der Erhellung.
10	0,232	1,136	0,998
20	0,116	0,568	0,499
30	0,077	0,378	0,333
40	0,058	0,284	0,249
50	0,046	0,228	0,199
60	0,038	0,188	0,166

Wenn diese grössere Helligkeit den Glaskugeln einen Vorzug vor den Linsen zu geben scheint, so wird dieser Vortheil wiederum mehr als aufgewogen durch den Nachtheil, den ihre so kurze Brennweite und die damit zusammenhängende Kleinheit des Gesichtsfeldes (§. 41) mit sich führen. In früherer Zeit, wo das zusammengesetzte Mikroskop noch nicht die Stufe der Vollkommenheit erreicht hatte, auf der wir es jetzt finden, und auch späterhin noch, als gute aplanatische Mikroskope zu hoch im Preise standen, waren kleine stark vergrössernde Glaskügelchen, die gleich Linsen beim einfachen Mikroskope verwendet wurden, ganz passend, weil man dadurch eine Reihe von Vergrösserungen erhalten konnte, die weit über jene der geschliffenen Glaslinsen gehen. Gegenwärtig jedoch, wo man für eine verhältnissmässig kleine Summe ein gutes Mikroskop bekommen kann, wird es Niemand mehr einfallen, seine Zuflucht zu solchen Glaskügelchen zu nehmen, deren Benutzung viel zu beschwerlich ist, obwohl man durch dieselben, wenn sie gut gefertigt sind, sehr bestimmt und scharf beobachten kann. Ich will deshalb hier nichts über ihre Anfertigung erwähnen; was aber sonst über sie mitzutheilen wäre, soll im dritten Bande seine Stelle finden.

123 Weiter oben wurde der beiden Hauptgebrechen der Linsen, der sphärischen Aberration und der chromatischen Aberration, mit der nötbigen Ausführlichkeit gedacht, wobei zugleich die zu ihrer Beseitigung dienenden Mittel besprochen wurden. Bei Benutzung der Linsen im einfachen Mikroskope ist die chromatische Aberration weniger zu besorgen als die sphärische; auch wird die Helligkeit des Netzhautbildchens dadurch weit weniger beeinflusst, als wenn die nämlichen Linsen als Objective eines zusammengesetzten Mikroskopes dienen. Für Lupen und einfache Mikroskope ist es daher von geringem Belange, ob achromatische Linsen benutzt werden, es müsste denn, wie es freilich immer der Fall

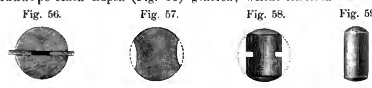
Digitized by Google

ist, zugleich auch die sphärische Aberration durch die Vereinigung von Kron- und Flintglas verbessert werden.

Die sphärische Aberration lässt sich aber, wie früher (§§. 49 bis 51) angeführt wurde, noch auf mehrfache andere Weisen verbessern. Wir haben diese Verbesserungen in ihrer Anwendung beim einfachen Mikroskope hier kurz zu betrachten.

1) Die sphärische Aberration lässt sich auf ein Minimum reduciren, wenn den beiden Oberflächen der Linse ein passender Krümmungsgrad ertheilt wird. Bei Kronglas mit dem Brechungsindex 1,534 ist die sphärische Aberration, wie wir gesehen haben (§. 51), am schwächsten, wenn die Radien beider Oberflächen sich wie 1 : 8,6 zu einander verhalten, und mit der Zunahme des Brechungsindex wächst auch die Differenz dieses Verhältnisses. Da nun eine planconvexe Kronglaslinse in ihrer Gestalt einer Linse von der besten Form schon sehr nahe kommt, so folgt hieraus, dass solche Linsen immer den Vorzug verdienen vor jenen, die auf beiden Seiten gleichmässig gekrümmt sind. Ausserdem muss die weniger gekrümmte Fläche, bei planconvexen Linsen also die platte Oberfläche, dem Objecte zugekehrt sein.

2) Hat die Linse eine zu grosse Oeffnung, so muss diese verkleinert werden, weil die sphärische Aberration immer mehr zunimmt, je näher dem Linsenrande die Strahlen durchgehen. Dies lässt sich auf verschiedene Art erreichen. Das älteste und gebräuchlichste Verfahren besteht darin, dass man ein durchbohrtes Plättchen oder ein Diaphragma über der Linse anbringt, wodurch die Randstrahlen abgehalten werden. Das Diaphragma kann auch nach Wollaston zwischen zwei mit ihren platten Flächen einander zugekehrten planconvexen Linsen liegen (Fig. 56), die zusammen eine biconvexe Linse darstellen. Das nämliche Ziel kann erreicht werden, wenn man (Fig. 57) nach Brewster's Vorschlage in eine Glaskugel in der Richtung ihres grössten Umfanges eine tiefe ringförmige Grube schleift. Ferner sind hier die verschiedenen Arten von Cylinderlupen zu nennen, zu denen auch die Vogelaugenlinsen (Fig. 58) und die Stanhope'schen Lupen (Fig. 59) gehören, welche letzteren ausserdem


Fig. 56. Fig. 57. Fig. 58. Fig. 59.

noch so eingerichtet sind, dass der Brennpunkt der einen gewölbten Oberfläche auf die gegenüber befindliche Fläche fällt, deren Krümmung zugleich dazu dient, alle Theile des Gesichtsfeldes in gleiche Entfernung vom optischen Mittelpunkte zu bringen (§. 108).

Alle diese Linsen haben, wie man beim blossen Anblick der Figuren

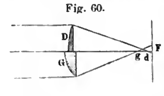
Digitized by Google

sieht, den Zweck, die Randstrahlen nicht ins Auge gelangen zu lassen, was entweder durch ein zwischenliegendes Diaphragma erreicht wird, oder dadurch, dass ein Theil der Kugel, wovon die Oberflächen der Linse Segmente darstellen, weggenommen wird. Später wird genauer über diese verschiedenen Linsen und deren relative Zweckmässigkeit gehandelt werden. Es genüge hier zu bemerken, dass bei allen wegen der starken biconvexen Gestalt die sphärische Aberration nur unvollkommen beseitigt werden kann, dass sie aber dafür den Vortheil eines ausgebreiteten Gesichtsfeldes bieten, weshalb auch die erste Sorte dieser Linsen von Wollaston den Namen der periskopischen erhalten hat.

3) Eines dritten Mittels, welches unter allen am meisten zum Ziele führen würde, wenn es praktisch sich anwenden liesse, sei hier nur im Vorbeigehen gedacht. Dieses Mittel ist darin gegeben, dass man den Linsen hyperbolische Krümmungen ertheilt statt der gewöhnlichen sphärisch gekrümmten Oberflächen. Bis jetzt ist es aber, ungeachtet mehrfacher Versuche, noch nicht gelungen, geschliffenen Linsen eine andere als die sphärische Form zu verschaffen, und ich würde diesen Punkt sogar ganz mit Stillschweigen übergangen haben, wenn es nicht durch einen glücklichen Zufall wirklich geschehen könnte, dass geschmolzene Glaskügelchen eine hyperbolische Krümmung bekommen. So wenigstens scheint mir die Erfahrung erklärt zu werden, dass unter einer grösseren Menge solcher Glaskügelchen immer einige vorkommen, die durch Helligkeit und Schärfe der erzeugten Bilder geschliffene Linsen, deren vergrössernde Kraft gleich gross ist, auffallend übertreffen.

4) Indem man Linsen aus Substanzen anfertigt, die ein stärkeres Brechungsvermögen haben als Glas, kann man eine stärkere Vergrösserung erreichen bei gleichbleibender Aberration. Die Brennweite gewöhnlicher Glaslinsen verhält sich zu jener von Saphir-, Granat- und Diamantlinsen wie 1 : 0,63, 1 : 0,62 und 1 : 0,35 (§. 38). Da nun die vergrössernde Kraft in gleichem Maasse zunimmt, als die Brennweite sich verkürzt, so wird z. B. eine Diamantlinse fast dreimal so stark vergrössern, als eine Glaslinse von gleicher Gestalt und mit der nämlichen sphärischen Aberration. Der relative Werth einer Glaslinse und einer Diamantlinse wird durch Fig. 60 erläutert. *D* ist der halbe Durchmesser einer Diamantlinse, *G* der halbe Durchmesser einer Glaslinse. Der Hauptbrennpunkt beider Linsen liegt in *F*. Der Randstrahl der Diamantlinse schneidet die Axe in *d*, der Randstrahl der Glaslinse schneidet sie in *g*. Für die Diamantlinse ist also die Länge der Aberration *dF*, für die Glaslinse *gF*.

Fig. 60.



Dazu kommt noch, dass das Dispersionsvermögen des Diamanten jenem von Kronglas fast gleich kommt (§. 54). Deshalb ist bei einer

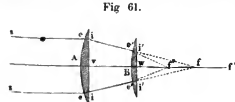
Diamantlinse von gleicher Oeffnung nnd der nämlichen vergrössernden Kraft nicht allein die sphärische Aberration viel unbedeutender als bei einer Glaslinse, sondern eben so auch die chromatische Aberration.

Die nämlichen Vorzüge, wenngleich in minderem Maasse, besitzen auch die Linsen aus Granat, aus Saphir und anderen Edelsteinen. Haben aber anch dergleichen Linsen unverkennbar Vorzüge, so ist doch nicht anzunehmen, dass dadurch die grossen mit ihrer Anfertigung verbundenen Mühen aufgewogen werden, und dass sie den hohen Preis lohnen, der ihnen wegen der schwierigen Herstellung noch mehr als wegen der Kostbarkeit des Materials zukommen würde. Diese Schwierigkeiten rühren besonders davon her, dass jenen Edelsteinen (mit Ausnahme des Granats, bei dem jedoch die Farbe hinderlich ist) eine doppelte Brechung zukommt, und dass demnach nur solche darans verfertigte Linsen brauchbar sind, deren Axe mit der Axe der doppelten Brechung zusammenfällt, eine Bedingung, die sich nur mit grosser Mühe auf vollkommene Weise erfüllen lässt. Da man nun jetzt am aplanatisch zusammeugesetzten Mikroskope ein Instrument besitzt, das in allen den Fällen, wo Edelsteinlinsen wirkliche Vortheile bringen würden, diesen Zweck wenigstens gleich gut erfüllt, so darf man die Bestrebungen, das einfache Mikroskop durch solche Linsen zu verbessern, bereits als dem Gebiefe der Geschichte angehörig ansehen. Einige Besonderheiten darüber werden deshalb im dritten Bande Erwähnung finden.

5) Die Vergrösserung lässt sich auch noch verstärken, ohne dass die sphärische Aberration in gleichem Verhältnisse zunimmt, wenn man nicht eine einzelne Linse gebraucht, sondern zwei, drei oder mehr Linsen zu einem Systeme vereinigt, so dass sie zusammen einer stärker gekrümmten Linse entsprechen. Solche Vereinigungen führen den Namen Doublet (Doppellinse), Triplet n. s. w. Der Nntzen derselben ist zu entschieden, als dass wir nicht einige Augenblicke bei ihren vornehmlichsten Eigenschaften verweilen sollten.

Die verschiedenen Arten von Linsen können auf mehrfache Art mit 124
einander verbunden werden. Hier kommt nur der Fall in Betracht, wo zwei oder anch mehr Sammellinsen, welche die nämliche optische Axe mit einander gemein haben, in eine gegenseitige Entfernnng von einander gebracht werden, die kleiner ist, als ihre Brennweite.

Fig 61.



Sind *A* und *B* (Fig. 61) zwei Linsen, deren Hauptbrennpuukte in *f* und *f'* sich befinden und deren gegenseitige Entfernung *vw* kleiner ist als

vf, so werden die parallel auffallenden Strahlen ze ze zunächst durch die erste Linse A convergirend gemacht, und sie würden sich in f vereinigen, träfen sie nicht in den Richtungen ie' und ie' auf die zweite Linse B, wo sie bei i' noch mehr convergirend werden, so dass nun der Brennpunkt beider vereinigten Linsen in f'' liegt.

Die Entfernung dieses Brennpunktes und die vergrössernde Kraft des Systems ist verschieden je nach der wechselseitigen Entfernung der Linsen. Am kleinsten ist die Brennweite, wenn beide Linsen einander unmittelbar berühren. Sind es zwei planconvexe Linsen, dann kommt ihre Vergrösserung jener einer biconvexen Linse gleich, deren beide Krümmungen den Krümmungen der nämlichen planconvexen Linsen entsprechen. Zwei einander ganz gleiche planconvexe Linsen, die mit einander verbunden werden, sei es durch Aneinanderlegen ihrer beiden ebenen Flächen oder dadurch, dass die gewölbte Fläche der einen an die obere Fläche der anderen kommt, haben nur eine halb so grosse Brennweite und wirken deshalb doppelt so stark vergrössernd, als jede Linse einzeln für sich.

Sind die Brennweiten verschieden, so wird die Brennweite des Systems für den Fall, wo die gegenseitige Entfernung der Linsen $= 0$ ist, gefunden werden, wenn man das Product der beiden Brennweiten mit ihrer Summe dividirt. Ein Doublet z. B. aus zwei dicht an einander liegenden Linsen bestehend, welche Brennweiten von 10 und 5^{mm} haben, wird eine Brennweite von $\frac{5 \cdot 10}{5 + 10} = 3{,}33^{mm}$ besitzen.

So lange die beiden Linsen einander unmittelbar berühren, ist es für ihre gemeinschaftliche Brennweite einerlei, in welcher relativen Stellung sie sich befinden, anders jedoch verhält es sich, sobald sie in einiger Entfernung von einander sind. In einem mikroskopischen Doublet heisst jene Linse, welche dem Objecte zugekehrt ist, die vordere, und die andere nennt man die hintere. Haben beide eine verschiedene Brennweite, dann ist es nicht gleichgültig, ob man die stärkste Linse zur vorderen oder zu hinteren wählt. Im Allgemeinen wird die gemeinschaftliche Brennweite gefunden, wenn man die Brennweite der vorderen Linse mit der Differenz zwischen der Brennweite der hinteren Linse und der Entfernung beider Linsen von einander multiplicirt, und dann das Product durch die Summe dieser Differenz und die Brennweite der vorderen Linse dividirt*). Rechnen wir die Brennweite der vorderen Linse

*) Ist $p =$ Brennweite der vorderen Linse, $p' =$ Brennweite der hinteren Linse, $d =$ Abstand der beiden Linsen von einander, dann ist die gemeinschaftliche Brennweite $a = \frac{p\,(p' - d)}{p + (p' - d)}$. Ist $d = 0$, dann wird $a = \frac{pp'}{p + p'}$, und ist $p = p'$, dann ist $a = \frac{1}{2}p$.

Digitized by Google

$= 5^{mm}$, der hinteren Linse $= 10^{mm}$, ihre gegenseitige Entfernung aber $= 3^{mm}$, dann ist die Brennweite des Doublets $\frac{5 \cdot 7}{5 + 7} = 2{,}9^{mm}$. Wird aber die relative Stelluug der beiden Linsen umgekehrt, so dass jene Linse die vordere wird, welche früher die hintere war, und bleibt die wechselseitige Entfernung der Linsen unverändert, dann ist die Brennweite des Doublets $\frac{10 \cdot 2}{10 + 2} = 1{,}7^{mm}$.

Die Brennweite wird hierbei vom optischen Mittelpunkte der vorderen Linse an gerechnet. Wollte man aber die vergrössernde Kraft des Doublets hiernach festsetzen, so verfiele man in einen grossen Irrthum; die gefundene Zahl der Vergrösserung wäre viel zu hoch, und sie wäre für die beiden relativen Stellungen der Linsen eine verschiedene. Man muss vielmehr durch Berechnung die Brennweite einer äquivalenten einfachen Linse aufsuchen, d. h. einer Linse, die gleiche Vergrösserung mit dem Doublet besitzt. Diese findet man, wenn man das Product beider Brennweiten dividirt durch die Summe derselben, weniger ihre wechselseitige Entfernung*). Im gegebenen Falle würde das Doublet einer Linse mit einer Brennweite von $\frac{5 \cdot 10}{5 + 10 - 3} = 4{,}17^{mm}$ entsprechen, was bei einer mittleren Sehweite von 25 Centimeter eine 61malige Vergrösserung giebt.

Wenn man die Brennweite des Doublets von jener der äquivalenten Linse subtrahirt, so erhält man den Punkt zwischen beiden Linsen, den man dem optischen Mittelpunkte einer einfachen Linse entsprechend annehmen kann. Bei der ersten relativen Stellung der Linsen liegt derselbe $4{,}17 - 2{,}9 = 1{,}27^{mm}$, bei der zweiten $4{,}17 - 1{,}7 = 2{,}47^{mm}$ hinter dem optischen Mittelpunkte der vorderen Linse.

Diese Beispiele werden genügen, um darzuthun, wie man durch Rechnung die Brennweite und die vergrössernde Kraft von Doublets bestimmen kann. Für Triplets gelten die nämlichen Vorschriften, wenn man sie als Vereinigung eines Doublets mit einer einfachen Linse ansieht. Es wird nicht nöthig sein, dies durch ein Beispiel näher darzuthun.

Uebrigens finden die früher (§. 113 bis 115) angegebenen Methoden, die Brennweite einfacher Linsen durch Messung zu bestimmen, vollständige Anwendung auf Linsensysteme, wenn man nur festhält, dass man dadurch nicht die Entfernung des Brennpunktes für die vordere Linse findet, sondern nur jene für die äquivalente einfache Linse.

*) Die Brennweite der äquivalenten Linse ist $= \frac{pp'}{p + p' - d}$, wo die Buchstaben die nämliche Bedeutung haben, wie in der vorhergehenden Anmerkung.

Digitized by Google

125 Ein grosser Vorzug der Doublets und Triplets liegt darin, dass sie starke Vergrösserung bewirken durch Vereinigung weniger stark vergrössernder Linsen, die sich leichter mit gehöriger Genauigkeit anfertigen lassen, als einzelne Linsen mit sehr kurzer Brennweite. Den wichtigsten Vortheil indessen bringen solche Linsensysteme dadurch, dass sie den Einfluss beider Arten von Aberration vermindern. Wenn nämlich (Fig. VIII. der Farbendrucktafel) von dem Objecte *ab* Strahlenbündel ausgehen, so werden jene sich kreuzen, welche seitlich der optischen Axe von entgegengesetzten Punkten kommen. An diesem Kreuzungspunkte wird auch am vortheilhaftesten ein Diaphragma *cd* angebracht, wodurch die schief auffallenden Randstrahlen abgeschnitten werden. Vermöge dieser Kreuzung werden jene Strahlen, welche in der ersten Linse *A* näher dem Rande durchgingen und deshalb dem Einflusse der sphärischen Aberration zumeist unterlagen, in der zweiten Linse *B* näher der Axe durchtreten, und umgekehrt werden jene in *A* näher der Axe befindlichen in *B* näher dem Rande auftreffen. Die entgegengesetzten Einflüsse beider Linsen auf den Gang der Strahlen heben somit einander grösstentheils, wenn auch nicht vollständig auf, denn es ist klar, dass dieser Gegensatz um so mehr abnimmt, je näher der Axe die Strahlen durch das Linsensystem gehen.

Dass gleichzeitig auch eine Verbesserung der chromatischen Aberration eintritt, ist daraus zu entnehmen, weil bei jedem Durchgange der Strahlen durch eine der beiden Linsen die Richtung der violetten Strahlen, als der brechbarsten, die stärkste Abänderung erleidet, und diese Abänderung ist in der Linse *B* die entgegengesetzte von jener in der Linse *A*. In *A* nämlich liegen die rothen Strahlen nach der Peripherie hin, die violetten nach der Axe zu, in *B* dagegen ist ihre relative Lage in Folge der Kreuzung gerade umgekehrt; da also die violetten Strahlen jetzt auf einen stärker brechenden Theil der zweiten Linse fallen, so werden sie wiederum den rothen Strahlen zugebrochen. Somit werden die farbigen Strahlen, wenn sie nach dem Verlassen der Linse ins Auge eindringen, auffallend weniger divergiren als früherhin, wenngleich ein vollkommen paralleler Verlauf, der zur Erreichung eines ganz farblosen Lichtes nöthig sein würde (§. 59), auf diese Weise doch niemals erzielt werden kann.

126 Haben die verschiedenen Linsen, welche in die Zusammensetzung eines Doublets oder Triplets eingehen, gleiche Grösse, dann ist die Oeffnung jeder einzelnen Linse auch zugleich die Oeffnung des Linsensystems, mag auch der Oeffnungswinkel des letzteren wegen der kürzeren Brennweite grösser sein. Sind aber die Linsen in Grösse verschieden, dann muss der Oeffnungsdurchmesser des Linsensystems jenem des Strahlenbündels, welches die hinterste Linse trifft, gleich angenommen werden.

Dieser Durchmesser sowohl als die Grösse des Oeffnungswinkels jener dem Systeme äquivalenten Linse lassen sich in gleicher Weise auffinden, wie es weiter oben (§. 121) für die einzelne Linse angegeben wurde. Schwierig ist es nur, den Punkt in dem Systeme genau zu bestimmen, von dem aus die Entfernungen gemessen werden müssen. Man findet ihn nach dem früher Angegebenen (§. 124), wenn man die Brennweite des Systems von jener der äquivalenten Linse abzieht. Sind aber die Brennweiten der Linsen nicht sehr verschieden von einander, dann darf man diesen Punkt ohne erheblichen Fehler in der halbirten Entfernung zwischen der vordersten und hintersten Linse befindlich annehmen, und wenn das Bild der Oeffnung in einer etwas grösseren Entfernung aufgefangen wird, dann verschwindet ein Unterschied in dem Resultate fast gänzlich, von welchem Punkte des Systems man auch ausgehen mag.

Dass in Folge der Verbesserung der Aberrationen ein Linsensystem eine viel weitere Oeffnung besitzen kann, als eine einfache Linse von gleich stark vergrössernder Kraft, das ergiebt die Vergleichung der folgenden Zahlen, bei deren Berechnung die von Littrow (*Dioptrik*, S. 378, 383 und 386, und Gehler's *Wörterbuch*, Art. Mikroskop) gefundenen Werthe zu Grunde gelegt sind, und die das relative Maass der Oeffnung einer Linse oder eines Linsensystems ausdrücken, das noch statthaft ist, wenn die sphärische Aberration auf ein Minimum herabgebracht wird, nämlich:

Biconvexe auf beiden Seiten gleiche Linse	1,00
Linse von der besten Form	1,19
Doublet	2,06
Triplet	3,41.

Die Quadrate dieser Zahlen bezeichnen zugleich die relative Helligkeit. Während also die Schärfe des Bildes die nämliche bleibt, kann das Doublet die vierfache, das Triplet mehr als die zehnfache Helligkeit einer einfachen Linse von gleicher Brennweite besitzen *). Giebt man dagegen den verschiedenen Linsen gleiche Oeffnung, dann nimmt die Aberration im umgekehrten Verhältnisse zu diesen Zahlen ab. Man hat es also in der Gewalt, in der Nettigkeit des Bildes sowohl als in dessen Helligkeit gleichzeitig eine bedeutende Verbesserung zu Stande zu bringen, und überdies nimmt mit der Oeffnung auch das Gesichtsfeld an Grösse zu.

*) Ganz genau ist dies allerdings nicht, da allemal, wenn Licht durch eine Linse geht, ein Theil der Strahlen reflectirt und absorbirt wird. Legt man die Berechnungen von W. Herschel (*Phil. Transactions.* 1800, p. 65) zu Grunde, so treten von 100 Strahlen, welche auf eine Linse von gewöhnlicher Dicke fallen, auf der anderen Seite wiederum 94,8 heraus. Dies giebt für ein Doublet 89,9 und für ein Triplet 85,2 Strahlen. Man ersieht aber hieraus, dass der Verlust ein sehr geringer ist im Vergleich zu der grösseren Lichtstärke, einer Folge der grösseren Oeffnung, die man den Linsensystemen geben kann.

Digitized by Google

Endlich giebt es noch einen Grund, weshalb Linsensysteme vor einzelnen Linsen den Vorzug verdienen. Da nämlich die Brechung auf mehrere Oberflächen mit geringerer Krümmung sich vertheilt, so erscheint das Gesichtsfeld mehr geebnet, als es bei Anwendung einer einzelnen gleich stark vergrössernden Linse der Fall sein würde.

127 Im Allgemeinen darf man annehmen, dass es am vortheilhaftesten ist, wenn Linsen, welche zu Doublets oder Triplets vereinigt werden sollen, planconvex sind und mit den flachen Seiten nach unten sehen, und es lässt sich im Voraus berechnen, welches die günstigste Stellung ist, um die stärkste Verbesserung der Aberration zu erreichen, während zugleich ein gewisses Maass von Helligkeit erhalten bleibt. Für die Praxis indessen taugen solche Berechnungen nicht gut; die Entfernungen sind zu kurz und die Linsen selbst zu klein, als dass es möglich wäre, ein Linsensystem ganz nach vorher berechneten Zahlenwerthen anzufertigen. So kommt es in der Wirklichkeit bei Anfertigung genauer Doublets und Triplets grösstentheils auf die praktische Uebung des Mechanikus und vornehmlich auf seine Geduld an, indem er durch wiederholte Versuche ein Urtheil über ihre gute Wirkungsweise sich bildet. Dazu kommt noch, dass die optischen Axen der verschiedenen Linsen vollkommen zusammenfallen müssen, oder dass, wie man sich auszudrücken pflegt, das System gehörig centrirt sein muss, was bei der Kleinheit der Linsen eine ungewöhnliche Sorgfalt in der Herstellung der Röhrchen verlangt, worin die verschiedenen Linsen gefasst sind. Pritchard versichert, dass er manchmal ganze Tage darauf hat verwenden müssen, ein auseinandergenommenes Doublet wiederum in Ordnung zu bringen.

Ausser den beim einfachen Mikroskope zumeist gebräuchlichen, aus planconvexen Linsen bestehenden Doublets muss hier noch eines Doublets von eigenthümlicher Construction gedacht werden (Fig. 62), welches J. Herschel zuerst angegeben hat. Es besteht aus einer biconvexen Linse von der besten Form, die mit einem convergirenden Meniscus verbunden ist. Die bezüglichen Krümmungen beider Linsen sind der Art, dass die Aberrationen auf ein Minimum herabgebracht sind. Zu starken Vergrösserungen scheint diese Combination weniger zu passen, weil die Krümmungen der Linsen den durch Berechnung gefundenen Werthen sehr genau entsprechen müssen, was bei kleinen Linsen ungemein schwer zu erreichen ist; für Lupen dagegen und für manche andere Zwecke, die später zur Sprache kommen werden, ist ein solches Doublet sehr brauchbar, da es eine sehr weite Oeffnung gestattet und folglich ein weites Gesichtsfeld hat.

Fig. 62.

Endlich will ich noch bemerken, dass Doublets und Triplets nicht nur aus Glaslinsen gefertigt werden können, sondern auch aus Linsen von Diamant oder von anderem Edelgestein. Unterläge die Anfertigung

Digitized by Google

solcher Linsen nicht zu grossen Schwierigkeiten, so würde man natürlich derartigen Systemen noch bei Weitem den Vorzug geben müssen vor Systemen aus Glaslinsen. Beim gegenwärtigen Stande der Sachen muss man aber zugeben, dass so kostbare Linsensysteme ein ganz überflüssiger Luxus sind und dass sie jener, der ein gutes aplanatisches Mikroskop besitzt, ganz entbehren kann.

Ueber die mechanische Einrichtung der Lupen und einfachen Mikroskope kann ich mich hier kurz fassen. Zwischen beiden giebt es keinen wahren Unterschied. Man belegt aber mit dem Namen der Lupen gewöhnlich solche Instrumente, wo die Linse oder das Linsensystem nur mässig vergrössert und wo die ganze Einrichtung eine einfachere ist. 128

Was die Fassung der Linsen betrifft, so lernten wir schon früher die Nothwendigkeit kennen, sie so einzurichten, dass die möglichste Annäherung des Auges zur Linse gestattet ist. Linsen mit schwacher Vergrösserung kann man mit der Hand halten, oder man kann sie an ein besonderes Gestell oder Stativ befestigen, mittelst dessen man sie in die gewünschte Entfernung vom Objecte bringt, falls man beide Hände zum Arbeiten zu gebrauchen wünscht. Die letztere Vorrichtung ist unerlässlich bei Linsen von grösserer Stärke, als man zum einfachen Mikroskope zu benutzen pflegt, und es muss ausserdem noch ein passender Beleuchtungsapparat angewendet werden, um Licht aufzufangen und die Objecte auf einem erhellten Grunde zu sehen, ohne genöthigt zu sein, sie dem hellen Himmel oder einem anderen Lichte zuzukehren, wobei die verticale Stellung in mancherlei Beziehung, besonders aber beim Präpariren sehr hinderlich sein würde. Endlich muss zwischen dem Spiegel und der Linse eine durchbohrte Platte angebracht werden, auf die man die Objecte legen kann.

Die besondere Einrichtung der einzelnen Theile dieses Apparates wird späterhin ausführlich betrachtet werden; es kommt dabei darauf an, was man mit einer Lupe oder mit einem einfachen Mikroskope beabsichtigt. Ich muss aber hier sogleich bemerken, dass das zusammengesetzte Mikroskop, nachdem es so bedeutende Verbesserungen erfahren hat, bei allen Untersuchungen, wo starke Vergrösserungen nöthig sind, bei Weitem den Vorzug verdient, da es fast alle Vorzüge des einfachen Mikroskopes besitzt, damit aber noch ein grösseres Gesichtsfeld, die Möglichkeit grösserer Entfernung der Objecte, grössere Lichtstärke und mindestens eine gleich grosse Schärfe verbindet, und da überdies bei seinem Gebrauche das Auge weniger angegriffen wird als durch sehr kleine Linsen, die doch zu starken Vergrösserungen mittelst des einfachen Mikroskopes erforderlich sind.

Nur in Einer Beziehung darf man auch jetzt noch dem einfachen

Digitized by Google

Mikroskope den Vorzug zu Untersuchungen einränmen: wegen der kleineren Form ist es bequem auf Reisen mitzunehmen. Für diesen Fall können auch stark vergrössernde Linsen oder Linsensysteme bei demselben von wesentlichem Nutzen sein. In den meisten übrigen Fällen kann man diese stark vergrössernden Gläser entbehren, denn der eigentliche Nutzen des einfachen Mikroskopes besteht gegenwärtig noch hauptsächlich darin, dass es ein Hülfsmittel ist, um vergrösserte Objecte behufs näherer Untersuchung zu präpariren, was unter dem zusammengesetzten Mikroskope wegen Umkehrung des Bildes immer sehr schwer hält und nur nach längerer Uebung ausführbar ist. Hat man auch bereits Mittel gefunden, dieser Unvollkommenheit des zusammengesetzten Mikroskopes abzuhelfen, so werden doch Viele noch lange Zeit hindurch dem einfachen Mikroskope hierbei den Vorzug geben.

Wenn wir nun so dem einfachen Mikroskope seinen mehr beschränkten Kreis anweisen, so ist klar, dass seine Vergrösserungen nicht über 50 bis 60 Mal binaus zu gehen braucben. Bei dieser Vergrösserung bleibt es noch gerade entfernt genug vom Objecte, dass man unter der Linse arbeiten kann, was bei einer stärkeren Vergrösserung bald nnthunlich wird, nicht nur wegen der geringen Entfernung zwischen Object und Linse, sondern auch deshalb, weil die Bewegungen der Hand nicht hinlänglich sicher und unsere Werkzeuge nicht fein genng sind, um mit Vortheil stärkere Vergrösserungen beim Präpariren zu benutzen.

Halten wir diesen Zweck für das einfache Mikroskop fest, so ergiebt sicb auch zugleich, dass seine ganze Einrichtung möglicbst einfacb sein muss. Alle combinirten und feinen Bewegungen, die beim zusammengesetzten Mikroskope vortbeilhaft sein können, vermögen einem blos zum Präpariren bestimmten einfachen Mikroskope keinen Vorzug zu verschaffen. Der Objecttisch muss zu diesem Zwecke gross, fest, ganz frei und unbeweglich sein, so dass das Object nicht der Linse, vielmehr diese dem Objecte genähert wird. Diese Annäherung wird besser durch ein Triebwerk als durch eine Schraube bewirkt, weil die Bewegung im ersteren Falle eine raschere ist und doch mit ausreichender Genauigkeit stattfindet, da hier nnr kleinere Vergrösserungen angeweudet werden. Will man auch starke Vergrösserungen anwenden, so kann noch eine zweite feinere Bewegung mittelst einer Mikrometerschraube angebracht werden. Als Beleuchtungsapparat ist ein ebener Spiegel für alle Fälle ausreichend, wo die Vergrösserung nicbt über 50 nnd 60 Mal hinausgeht. In Ausnahmefällen und wenn stärkere Linsen benutzt werden, können aber auch andere Beleuchtungsvorrichtungen passen. von deneu später die Rede sein wird. Endlich muss die Gesammthöhe des Instrumentes, namentlich aber des Objecttisches, der Art sein, dass man bequem in sitzender Stellung damit arbeiten kann.

Zweites Kapitel.

Das Bildmikroskop.

Unter diesem allgemeinen Namen wollen wir verschiedene Instrumente zusammenfassen, die alle darin übereinstimmen, dass das mittelst einer Linse oder einer Vereinigung von Linsen erzeugte Bild eines stark erhellten Objectes in einem dunkeln Raume auf einem Schirme aufgefangen wird. Es gehören dazu das Sonnenmikroskop, das Lampenmikroskop, das Gasmikroskop und das photoelektrische Mikroskop. 129

Ich halte es für zweckmässig, die allgemeine Betrachtung der Einrichtung und Bestimmung dieser Instrumente hier folgen zu lassen, weil sie vermöge ihrer optischen Einrichtung den Uebergang bilden zwischen dem einfachen und dem zusammengesetzten Mikroskope.

Die Theorie der Bildmikroskope ist sehr einfach und bereits vollständig in den §§. 42 und 43, sowie den zugehörigen Fig. 31 und 32 gegeben, wo vom Entstehen der Bilder durch Linsen im Allgemeinen die Rede war. Dort stellten sich folgende Punkte heraus: 130

1) Hinter einer Linse entsteht immer das Bild eines davor befindlichen Objectes, wenn sich dieses in einiger Entfernung ausserhalb der Brennweite befindet. Was von einer einzelnen Linse gilt, das passt auch auf eine Vereinigung von Linsen, wodurch eine gleiche Wirkung erzielt wird, wie durch eine einzelne Linse.

2) Das Bild hat die umgekehrte Lage vom Objecte.

3) Das Bild eines in gerader Ebene liegenden Objectes kommt in eine nach einem Kegelschnitte gebogene Ebene zu liegen.

4) Das Bild ist grösser als das Object, sobald die Entfernung, in der es sich darstellt, grösser ist als die doppelte Brennweite der Linse. Da nun bei allen Bildmikroskopen die Entfernung, in welcher das Bild aufgefangen wird, sehr gross ist im Verhältniss zur Brennweite der Linse, so folgt hieraus einestheils, dass das Bild stark vergrössert sich darstellen muss, so wie anderentheils, dass das Object dem Brennpunkte der Linse sehr nahe gebracht werden muss. Es lehrt z. B. die Berechnung, dass bei einer Linse von 5^{mm} Brennweite das Object $5{,}05^{mm}$ entfernt von der Linse sich befinden muss, wenn das Bild in 0,5 Meter Entfernung sich gestalten soll. Ist diese letztere Entfernung = 2 Meter, dann muss das Object der Linse bis auf $5{,}012^{mm}$ oder dem Brennpunkte bis auf $^1/_{83}{}^{mm}$ genähert werden. Da nun der auffangende Schirm meistens noch mehr

Digitized by Google

als 2 Meter entfernt ist, so darf man mit ziemlicher Genauigkeit für die meisten Fälle annehmen, dass das Object wirklich im Brennpunkte der Linse befindlich ist, wo dann die Vergrösserung gleich sein würde der Entfernung des Schirmes dividirt durch die Brennweite der Linse *). Hieraus folgt zugleich, dass die Vergrösserung in dem Verhältnisse ab- und zunimmt, als der Schirm näher oder entfernter aufgestellt wird.

131 Zu einem Bildmikroskope gehören wesentlich drei Theile: 1) Eine Vorrichtung, um die Objecte in die gehörige Entfernung von der Linse oder vom Linsensysteme zu bringen. 2) Ein Apparat zur Beleuchtung des Objectes. 3) Ein im dunkeln Raume befindlicher Schirm, um dem Auge das Bild sichtbar zu machen. — Diese Bestandtheile sind einzeln der Reihe nach zu betrachten.

132 Der erste Theil dieser Einrichtung ist der wesentlichste. In der Hauptsache entspricht er ganz dem einfachen Mikroskope, wenn nur der hierbei gebräuchliche Beleuchtungsapparat weggelassen wird. Da aber das Bildmikroskop nicht durchaus die nämliche Bestimmung hat wie das einfache Mikroskop, so müssen in den verschiedenen Unterabtheilungen des Apparates einige Modificationen angebracht werden.

Die nämlichen Linsen und Linsensysteme, welche beim einfachen Mikroskope in Gebrauch sind, finden auch hier Anwendung. Nur ist der Einfluss der chromatischen Aberration auf die Schärfe der Bildumrisse merkbarer, und deshalb erscheint es rathsam, hier nicht blos Doublets und Triplets mit Linsen aus der nämlichen Glassorte zu nehmen, sondern Systeme achromatischer Doppellinsen anzuwenden, die auf die nämliche Art zubereitet sind, wie jene im zusammengesetzten Mikroskope gebräuchlichen Linsen, mit dem Unterschiede jedoch, dass die Kron- und Flintglaslinsen nicht mittelst Canadabalsam vereinigt sein dürfen, weil dieser durch die Wärme, der die Linsen ausgesetzt werden, schmelzen und sich trüben würde. Auch dürfen solche Systeme nicht überverbessert werden, wie dies beim zusammengesetzten Mikroskope wegen der Aberration des Oculars nöthig ist, sondern sie müssen wo möglich vollkommen aplanatisch sein. Ferner ist bei der Fassung der Linsen darauf zu sehen, dass die äussersten Randstrahlen nicht abgeschnitten werden, damit das Feld, worauf das Bild sich darstellt, möglichst gross ist.

Auch bei Bildmikroskopen ist es gut, wenn sich die Linse nach dem Objecte hin bewegt und nicht das Object nach der Linse zu, weil im letzteren Falle der Grad der Beleuchtung, auf den hier besonders viel ankommt, immer auch eine Veränderung erleiden würde. Die Bewegung

*) Genau ausgedrückt ist die Entfernung des Objectes vom optischen Mittelpunkte der Linse $= \frac{pb}{b-p}$, die Vergrösserung aber $= \frac{b-p}{p}$, wenn b die Entfernung des Bildes von der Linse, und p die Brennweite der Linse bezeichnet.

Digitized by Google

wird ebenfalls am besten durch ein Triebwerk zu Stande gebracht. Da ferner der Objecttisch hier niemals zum Präpariren der Objecte benutzt wird, sondern nur zu deren Befestigung dient, so braucht derselbe nicht frei zu sein und nur die Grösse zu haben, die gerade nöthig ist, um die nöthigen Hülfsmittel zur Befestigung der Kästchen, Glasplättchen u. s. w. mit den Objecten anzubringen.

Es mindert sich die Lichtstärke der Objectbilder in dem doppelten 133
Verhältnisse der Quadrate der Durchmesser der gebrauchten Linsen und des Quadrats der Entfernung, in welcher sich das Bild gestaltet. Daraus ergiebt sich für das Bildmikroskop die Nothwendigkeit, den Objecten, oder, falls diese undurchsichtig sind, dem Gesichtsfelde eine sehr starke Beleuchtung zu Theil werden zu lassen. Der Beleuchtungsapparat ist daher auch ein sehr wichtiger und stets der voluminöseste Theil eines Bildmikroskopes.

Jedes Licht, wie es auch erzeugt worden sein mag, kann zur Beleuchtung der Objecte benutzt werden, wenn es nur den hinreichenden Grad von Intensität besitzt. Da man nun jetzt im Besitze verschiedener Mittel ist, um ein starkes Licht zu erzeugen, so werden natürlich auch die Beleuchtungsapparate sehr verschiedenartig sein können.

Bei geringen Vergrösserungen kann das Licht einer Argand'schen Lampe benutzt werden, das man mittelst einer grossen Linse in concentrirtem Zustande auf das Object leitet, und wirklich hat man in früherer Zeit solche Lampenmikroskope verfertigt. Dieselben sind aber jetzt ganz ausser Gebrauch, seitdem man durch andere künstliche Mittel ein viel stärkeres Licht zu erzeugen gelernt hat.

Hierher gehört zuvörderst das Licht, welches entsteht, wenn Kalk 134
in eine Flamme von Wasserstoff- und Sauerstoffgas gehalten wird, von welcher Beleuchtungsweise das Instrument auch den Namen Hydrooxygengasmikroskop oder kurzweg Gasmikroskop führt. Man hat mancherlei Apparate ersonnen, die hierzu anwendbar sind und die später beschrieben werden sollen. Bequemlichkeit und Sicherheit der Anwendung sind die Haupterfordernisse, wodurch sich ihr relativer Werth bestimmt. Jedes der beiden Gase muss in einen besonderen Gasbehälter eingeschlossen sein, und sie müssen erst nahe der Stelle, wo sie vereinigt ausströmen, mit einander sich vermischen. Ein ferneres Erforderniss ist es, dass das Zuströmen der Gase und die Grösse der Flamme gehörig regulirt werden können, und dass der Kalkcylinder um seine Axe beweglich ist, was am besten durch ein Uhrwerk erzielt wird. Das Licht wird ferner auf das nahe dem Vereinigungspunkte der Strahlen befindliche Object mittelst eines Hohlspiegels oder mittelst einer Linse von grossem Umfange concentrirt, die wegen der Nähe der Lichtquelle eine kurze Brennweite haben müssen. Ist ein einzelner Hohlspiegel oder ist

Digitized by Google

eine einzige grosse stark gewölbte Linse dazu nicht ausreichend, so kann deren Wirkung noch durch eine zweite Linse unterstützt werden.

135 Beim photoelektrischen Mikroskope geht die Beleuchtung von jenem Lichte aus, welches zwischen zwei Kohlenspitzen als Polen einer galvanischen Batterie entsteht. Die hierzu nöthige Vorrichtung zählt zu den Apparaten, die unter dem Namen der constanten Batterien bekannt sind, wobei zwei kegelförmig zulaufende Stückchen Kohle, die an den Polenden befestigt und einander genähert sind, zum Glühen gebracht werden. Ihr Licht wird dann, wie beim Gasmikroskope, durch einen Hohlspiegel oder eine Glaslinse auf das Object concentrirt. Zur gehörigen Regulirung der Beleuchtung sind noch eine Reihe von Vorkehrungen nöthig, die später ausführlich besprochen werden sollen.

Selbstverständlich wird auch das Magnesiumlicht, welches neuerdings durch Bunsen in Gebrauch gekommen ist, zu dem nämlichen Zwecke verwendet werden können, zumal dann, wenn man das Bildmikroskop zur Anfertigung mikroskopischer Photographien benutzt, worüber weiterhin noch mehr mitgetheilt werden soll.

136 Das Sonnenmikroskop ist das älteste unter den verschiedenen Bildmikroskopen, und es übertrifft die vorigen noch immer durch seine Lichtstärke. Nach den Versuchen, welche Fizeau (*Bulletin de la Soc. d'encouragement.* Sept. 1845, p. 393, und Dingler's *polytechnisches Journ.* 1846. C. S. 115) über die Zeitdauer anstellte, welche nöthig ist, um photographische Abbildungen von gleicher Stärke zu erhalten, war die Lichtintensität

der Sonne	= 1
des Kalks in der Hydrooxygengasflamme	= $^1/_{146}$
der Kohlenspitzen einer Bunsen'schen Batterie von 80 Elementen.	= $^1/_{4,2}$
der Kohlenspitzen einer Batterie von 138 Elementen	= $^1/_{2,5}$.

Wenn sich auch in diesen Zahlen die grössere Intensität des beim photoelektrischen Mikroskope benutzten Lichtes vor jenem beim Gasmikroskope angewendeten herausstellt, so ergiebt sich doch zugleich, dass unerachtet des so umfänglichen Apparats das elektrische Licht zwischen den Kohlenspitzen dem Sonnenlichte doch noch nicht gleichkommt. Auch darf man nicht vergessen, dass beim Sonnenmikroskope die Lichtquelle sich in unendlicher Entfernung befindet, so dass es möglich ist, mittelst einer concentrirenden Linse im Brennpunkte alle Strahlen in einem sehr kleinen Raume zu vereinigen, wobei das Sonnenbild fast punktförmig wird, während bei jeder künstlichen Lichtquelle eine solche Vereinigung nur in einem viel beschränkteren Maasse zu erreichen ist. Der Abstand dieser letzteren nämlich im Vergleich zu jener Entfernung, wo sich die Strahlen nach ihrem Durchgange durch die concentrirende Linse

schneiden, ist immer ein sehr unbedeutender, wenn man das nämliche Verhältniss zwischen dem Sonnenabstande und dem Vereinigungspunkte der Sonnenstrahlen hinter einer Linse damit vergleicht. Das Bild einer künstlichen Lichtquelle ist deshalb immer nur ein mässig verkleinertes, die Concentration des Lichtes an der betreffenden Stelle deshalb stets viel schwächer als vom Sonnenlichte. Daraus folgt soviel, dass, wenn es auch möglich wäre, künstlich eine Lichtquelle zu schaffen, deren Intensität das Sonnenlicht erreichte oder selbst überträfe, es gleichwohl nicht möglich sein würde, das Licht so stark zu concentriren, dass es dem durch eine Linse concentrirten Sonnenlichte gleich käme.

In der That ist das Sonnenmikroskop unter allen Bildmikroskopen noch immer das beste, und es würde alle anderen derartigen Apparate ganz überflüssig machen, wäre nicht die Unannehmlichkeit, dass man bei seiner Benutzung vom Zustande des Himmels abhängig ist.

Der Beleuchtungsapparat des Sonnenmikroskopes besteht aus einem beweglichen Spiegel zum Auffangen des Lichtes und aus einer Linse zu dessen Concentrirung. Es ist vortheilhaft, wenn diese Linse einen grossen Durchmesser etwa von 12 bis 15 Centimeter hat, nicht sowohl um das Licht zu vermehren, da man mit einer derartigen Linse so starkes Licht bekommt, dass die Objecte bei geringeren Vergrösserungen nicht in den Vereinigungspunkt der Strahlen gebracht zu werden brauchen, wo auch die Wärme für viele organische Körper zu gross sein würde, sondern weil man bei Anwendung einer kleineren Linse, wenn die gleiche Lichtstärke erzielt werden soll, die Gegenstände dem Vereinigungspunkte der Strahlen näher bringen muss, wo dann der Durchschnitt des Lichtkegels kleiner ist, und es mithin auch schwerer fällt, eine gleichmässige Beleuchtung zu erreichen. 137

Jedem Sonnenmikroskope muss ferner eine Einrichtung zugefügt werden, mittelst deren man die Beleuchtung ermässigt oder verstärkt, je nachdem die angewandte Vergrösserung und die Art der dargestellten Objecte dies nöthig macht. Auf dreifache Art lässt sich dieses Ziel erreichen:

a) durch Abänderung der Entfernung zwischen Object und Beleuchtungslinse;

b) wenn man Linsen mit kürzerer oder längerer Brennweite in die Bahn der Strahlen einschiebt;

c) wenn man den Durchmesser des Strahlenkegels verkleinert, indem man in seiner Bahn ein Diaphragma anbringt, dessen Oeffnung vergrössert und verkleinert werden kann.

Das letztgenannte Verfahren ist zwar meines Wissens noch nicht in praktische Anwendung gekommen; es dürfte aber vor dem zweiten den Vorzug verdienen, weil bei diesem keine graduelle Veränderung der


Digitized by Google

Lichtstärke möglich ist, und ebenso vor dem ersten wegen der grösseren Genauigkeit und Leichtigkeit der Bewegung. Ein solches Diaphragma kann aus zwei rechtwinkelig ausgeschnittenen Messingplatten bestehen, die zusammen eine quadratische Oeffnung haben und durch einen Trieb über einander gleiten.

Der Spiegel hat nur den Zweck, die Unbequemlichkeit zu beseitigen, die damit verbunden sein würde, wenn man die Beleuchtungslinse stets der Sonne zugekehrt halten müsste. Um die Strahlen gehörig bei allen Stellungen der Sonne auffangen zu können, muss der Spiegel in zwei Richtungen sich bewegen lassen. Da die Sonne scheinbar in die Höhe steigt und sinkt, so muss der Winkel, den der Spiegel mit der Beleuchtungslinse bildet, sich vergrössern und verkleinern lassen. Um aber auch zweitens der scheinbaren Bewegung der Sonne von Osten nach Westen folgen zu können, muss der Spiegel eine drehende Bewegung um die Axe des Beleuchtungsapparates besitzen, die zugleich auch Axe des ganzen Mikroskopes ist. Diesen beiden Bewegungszwecken entsprechen verschiedene mechanische Einrichtungen. Das vorzüglichste, aber freilich auch das kostbarste Mittel ist die Bewegung des Spiegels mittelst eines Heliostats.

Der Spiegel muss ferner eine solche Grösse besitzen, dass seine Breite mindestens den Durchmesser der Beleuchtungslinse erreicht, und er muss gehörig lang sein, um auch bei einem tieferen Stande der Sonne noch ein Strahlenbündel aufzufangen, dessen Durchschnitt dem nämlichen Durchmesser gleichkommt.

138 Den bisher beschriebenen Beleuchtungsapparaten muss noch eine andere Einrichtung zugefügt werden, um undurchsichtige Gegenstände zu beleuchten. Dies kann wieder auf verschiedene Art erreicht werden. Die Sache läuft aber immer darauf hinaus, dass mittelst eines ebenen oder hohlen Spiegels, den man vor das Object stellt, das Licht vom Beleuchtungsapparate aufgefangen und auf die vordere Fläche des Objectes reflectirt wird. Natürlich müssen diese Spiegel in der Weise angebracht werden, dass sie den Durchgang der Lichtstrahlen durch die Vergrösserungslinse nicht behindern.

139 Um den Einfluss der Wärme zu mindern, die, weil sie mit dem Lichte zugleich auf das Object concentrirt wird, nicht selten sehr nachtheilig auf dieses einwirkt, kann man mancherlei Substanzen in die Bahn der Strahlen bringen, von denen es bekannt ist, dass sie einen Theil der Wärmestrahlen absorbiren, dabei aber doch das Licht durchlassen. Durch genauere Versuche muss aber noch nachgewiesen werden, welche Körper für die Licht- und Wärmequellen, welche bei Bildmikroskopen in Betrachtung kommen, als die besten zu erachten sind. Die Ergebnisse der Melloni'schen Versuche über die Permeabilität der Körper für Wärme-

Google

strahlen geben hierüber Winke, ohne jedoch maassgebend zu sein, weil die Permeabilität mit dem Grade der entwickelten Wärme sich verändert, wie aus Melloni's eigenen Versuchen ersichtlich ist.

Endlich gehört noch zu jedem Bildmikroskope ein dunkler Raum 140 und ein Schirm, um das Bild sichtbar zu machen. Als dunkeln Raum benutzt man in der Regel ein verdunkeltes Zimmer; doch kann man sich für bestimmte Zwecke auch jedes anderen dunklen Raumes bedienen, worin man das Bild in gleicher Weise wie in einer Camera obscura auffängt. Mehrerer tragbarer Apparate dieser Art wird später gedacht werden. Wird ein ganzes Zimmer als dunkler Raum benutzt, so kommt es darauf an, dass alles Licht, auch jenes vom Beleuchtungsapparate, ganz abgehalten wird. Beim Gasmikroskope und beim photoelektrischen Mikroskope wird deshalb die Lichtquelle mit einem dazu bestimmten kleinen Kasten umgeben, der mit einem Schornsteine versehen ist, damit die durch Verbrennnng erzeugten Gase entweichen können. Auch ist es zweckmässig, wenn der Kasten eine Oeffnung hat, die durch ein sehr dunkel gefärbtes Glas geschlossen wird, das aber doch noch erlaubt, das Licht behufs der gehörigen Regulirung zu sehen.

Beim Sonnenmikroskope befindet sich der Spiegel ausserhalb des Zimmers und ein Futteral, welches die Belenchtungslinse mit dem Objecttische in Verbindung setzt, verhindert, dass das dnrch die Linse dringende Licht im Zimmer sich ausbreitet. Deshalb muss auch der Raum zwischen dem Objecte und der Vergrösserungslinse möglichst abgeschlossen sein, dass nur gerade soviel Platz übrig bleibt, um die Objecte auf dem Objecttische befestigen zu können.

Als Schirm zum Anffangen des Bildes kann man bei allen Bildmikroskopen die nämlichen Gegenstände verwenden. Bei grösseren Entfernnngen benntzt man ein weisses leinenes oder baumwollenes Tuch, das nicht zn grob nnd gross genug sein muss, um das ganze erleuchtete Feld aufzunehmen. Eine weiss getünchte Mauer eignet sich nicht gleich gut, weil eine abgeänderte Entfernung von der Linse dabei nicht möglich ist. Zn kleineren Schirmen, die man bei einer geringeren Entfernnng benutzen kann, ist ein glattes weisses Papier branchbar, das anch wohl mit Leinöl oder Firniss getränkt sein kann, um das Bild auf der anderen Fläche sichtbar zu machen. Zu gleichem Zwecke kann auch mit Vortheil eine matt gescbliffene Glasplatte genommen werden, die in allen jenen Fällen den Vorzug verdient, wo man das Bild nicht blos sehen, sondern anch messen oder abzeichnen will. Für den letztgenannten Zweck eignet sich noch besser eine dnrchscheinende Platte von gewöhnlichem Spiegelglase, auf die man ein mit Terpentinöl durchtränktes Papier legt. 141

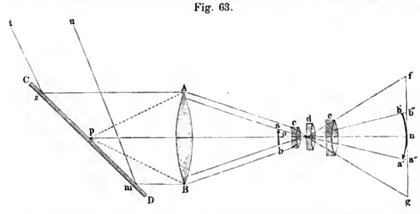
Auf den ersten Blick muss es vortheilhaft erscheinen, wenn der be-

Digitized by Google

nutzte Schirm nicht geradflächig, sondern so gekrümmt ist, dass die Krümmung der Ebene entspricht, in welcher sich das Bild gestaltet (§. 43). Die Herstellung eines solchen Schirmes wäre aber nicht blos sehr mühsam, derselbe würde auch nur wenig zu benutzen sein, weil nach dem weiter oben Mitgetheilten die Vergrösserung des Bildes von der Mitte des Feldes aus nach der Peripherie zu abnimmt, und weil ausserdem auch die Krümmuug der Fläche für jede Entfernung und für jede in Anwendung gezogene Linse eine andere sein müsste.

142 Was bisher über die Bildmikroskope gesagt worden ist, wird durch Fig. 63 erläutert. Befindet sich das Object *ab* etwas ausserhalb des

Fig. 63.



Brennpunktes *o* des achromatischen Linsensystems *cde*, so bekommt man in *b'a'* ein vergrössertes und verkehrtes Bild desselben. Ist die dem Linsensysteme zugewandte Fläche von *ab* beleuchtet, so erscheint das Bild mit allen Farben des Objectes, wird dagegen letzteres von hinten beleuchtet, dann erhält man in *b'a'* ein Schattenbild. Ein solches Schattenbild ist in Fig. 63 dargestellt, wo die Linse *AB* dazu dient, entweder die Sonnenstrahlen *tz* und *um*, welche vom Spiegel *CD* reflectirt werden, oder die Strahlen *pA* und *pB*, welche von einem künstlichen Lichte in *p* ausgehen, auf der hinteren Fläche von *ab* zu concentriren, wo jedoch nur ein Theil des Strahlenkegels aufgehalten wird, während die übrigen Strahlen, nachdem sie das Linsensystem durchsetzt haben, zur Beleuchtung des Feldes dienen, dessen Durchschnitt in *fg* angegeben ist. Stellt dieses Feld eine gerade Ebene dar, so wird das Bild offenbar nur in *n* ein ganz scharfes sein.

143 Aus dem früher Entwickelten (§. 133) folgt, dass beim Bildmikroskope zwei Hauptmittel zu Gebote stehen, um die Vergrösserung stärker zu machen: man kann den Schirm weiter entfernen, oder man benutzt Linsen oder Linsensysteme von kürzerer Brennweite. Das letztere Mit-

Digitized by Google

tel verdient überall, wo es anwendbar ist, den Vorzug, weil mit dem Weiterrücken des Schirmes das Bild alsbald sehr an Deutlichkeit verliert. Ueberdies wird auch dadurch die Ebene, in welche das Bild zu liegen kommt, stärker gekrümmt, weil mit einem Weiterrücken des Schirmes eine Annäherung des Objectes an die Linse parallel gehen muss (§. 43).

Es giebt aber noch zwei andere Mittel, die in einzelnen Fällen anwendbar sind. Das erste besteht darin, dass man die Strahlen, bevor sie den Schirm erreichen, durch eine biconcave oder planconcave Linse gehen lässt. Eine solche Linse nämlich besitzt die Eigenschaft, divergirende Strahlen noch stärker divergirend zu machen (§. 45), und da die Vergrösserung des Bildes für eine bestimmte Entfernung ganz davon abhängt, in welchem Grade die verschiedenen Strahlenkegel, welche zur Erzeugung des Bildes beitragen, auseinander weichen, so muss durch eine solche Zerstreuungslinse die Vergrösserung offenbar zunehmen. Uebrigens ist es vortheilhaft, wenn diese Linse gleich jenen des Linsensystems achromatisch, also aus Flint- und Kronglas zusammengesetzt ist.

Man kann endlich in einiger Entfernung vorderhalb des Linsensystems das gewöhnliche Ocular eines zusammengesetzten Mikroskopes anbringen. Dadurch wird nicht nur eine stärkere Vergrösserung des Bildes erreicht, sondern dasselbe kommt auch wieder in die ursprüngliche Stellung des Objectes, was in manchen Fällen vortheilhaft sein kann. Damit verknüpft sich selbst noch ein anderer Vortheil, dass man nämlich bei passender Wahl der beiden Linsen, die das Ocular zusammensetzen, die Krümmung des Bildes ganz zu beseitigen im Stande ist, wie weiterhin bei Betrachtung des zusammengesetzten Mikroskopes erhellen wird. Ein Nachtheil ist freilich damit verbunden, nämlich eine Verkleinerung des Feldes und ein bedeutender Verlust an Licht, eine Folge der wiederholten Reflexionen beim Durchgange der Strahlen durch das Ocular. Beim Gasmikroskope und beim photoelektrischen Mikroskope ist demnach von diesem Mittel wenig zu erwarten; aber auch beim gewöhnlichen Sonnenmikroskope kann man von seiner Anwendung füglich abstehen. Beim tragbaren Sonnenmikroskope dagegen verdient eine solche Vorrichtung vor allen anderen den Vorzug; davon habe ich mich durch vielfachen Gebrauch eines solchen Apparates überzeugt, den ich späterhin ausführlich beschreiben werde. Nur will ich noch bemerken, dass bei Benutzung gewöhnlicher nicht aplanatischer Oculare die Linsensysteme, gleich denen im zusammengesetzten Mikroskope, überverbessert sein müssen, damit die entgegengesetzten Aberrationen einander gegenseitig aufheben. Benutzte man Linsensysteme, die für sich allein gebraucht ein sehr scharfes Bild geben, wie jene eines gewöhnlichen Sonnenmikroskopes sein sollen, dann würde ein nicht alplanatisches Ocular dem Bilde viel von seiner Schärfe rauben.

Digitized by Google

144 Bildmikroskope haben vor allen Arten von Mikroskopen die stärksten Vergrösserungen voraus. Es hält nicht schwer, bei Benutzung von Linsen mit kurzer Brennweite mittelst des Sonnenmikroskopes Bilder zu erhalten, deren Durchmesser die Objecte 7- bis 8000 Male übertrifft. Eine Linse z. B., welche im einfachen Mikroskope für eine mittlere Sehweite von 25 Centimeter 400 Male vergrössert, wird auf einem Schirme, der sich in der nämlichen Entfernung befindet, ein Bild erzeugen, dessen Durchmesser beinahe 400 Mal grösser ist als das Object (§. 116). Wird nun der Schirm in 1 Meter Entfernung gebracht, so ist die Vergrösserung bereits eine 1600fache, bei 3 Meter Entfernung eine 4800fache, und bei 5 Meter eine 8000fache. Bei einem gut eingerichteten und zweckmässig gehandhabten Sonnenmikroskope ist auch noch hinreichendes Licht vorhanden, um trotz dieser ausserordentlichen Vergrösserungen und selbst bei noch weiter gehenden *) die Bilder der Objecte unterscheiden zu können. Bei einem Gasmikroskope dagegen, dessen Lichtstärke eine viel geringere ist, kann man schon bei einer 1500fachen Vergrösserung wenig mehr vom Bilde erkennen. Ueber die Grenzen des photoelektrischen Mikroskopes kann ich aus eigener Untersuchung nichts angeben; nach dem, was weiter oben mitgetheilt wurde, muss es aber zwischen dem Sonnenmikroskope und dem Gasmikroskope stehen.

Diese starken Vergrösserungen erzeugen bei unkundigen Beobachtern die Vorstellung, als biete sich in dieser Art von Instrumenten das ausgiebigste Hülfsmittel zu Untersuchungen, welches allen anderen Arten von Mikroskopen den Rang ablaufe. Zu solcher irrigen Vorstellung trägt auch das grosse Gesichtsfeld bei. Ein kleines Insect von etwa 1^{mm} Länge wird sich bei einer 1000maligen Vergrösserung noch vollständig auf dem Schirme darstellen, und zwar als ein Ungeheuer von 1 Meter Länge. Dieses nämliche Insect kann mittelst eines zusammengesetzten Mikroskopes, ja selbst mit einer einfachen Linse eben so stark vergrössert werden; man sieht aber dann nur einen kleinen Theil desselben auf einmal, und die Vergrösserung, wenngleich sie in Wirklichkeit vollkommen dieselbe ist, erscheint dem Ungeübten durchaus nicht so stark, weil er die verschiedenen kleinen Theile, welche nach einander ins Gesichtsfeld treten, nicht zu einem Ganzen zu vereinigen vermag. Deshalb machen die Bildmikroskope auf das Publikum immer noch einen viel grösseren Eindruck, als die Beobachtung durch andere Mikroskope, obwohl diese zu wirklichen Untersuchungen bei Weitem besser sich eignen. Man muss selbst als Regel aufstellen, dass zu wissenschaftlichen Untersuchungen niemals ein Bildmikroskop allein benutzt werden darf, da dessen starke Vergrösserungen immer nur auf Kosten der Deutlichkeit in den Umrissen des Bildes erhalten werden. Den gewöhnlichen Fehlern der Lin-

*) Bei Benutzung stark vergrössernder Glaskügelchen habe ich Vergrösserungen von 16000 Mal im Durchmesser erreicht.

Digitized by Google

sen, der sphärischen und chromatischen Aberration, die sich zwar verbessern, aber niemals ganz beseitigen lassen und deren Einfluss in wachsendem Maasse zunimmt, wenn der Schirm entfernter gerückt wird, gesellen sich noch die mannigfaltigen Interferenzen der Lichtstrahlen zu, die mit den hier angewendeten Beleuchtungsweisen nothwendig vergesellschaftet sind. Dies hat zur Folge, dass man zeitig schon für den Abstand des Schirmes eine Grenze findet, die nicht überschritten werden darf, weil das Bild dadurch zwar an Grösse zunimmt, aber an Deutlichkeit verliert; daher man bei stärkerer Vergrösserung wirklich weniger in dem Bilde sieht als bei schwächerer. In dem Maasse, als man stärker vergrössernde Linsen oder Linsensysteme anwendet, rückt diese Grenze näher an das Object heran. Im Allgemeinen darf man annehmen, dass in dem durch eine Linse oder ein Linsensystem auf einem Schirme erzeugten Bilde selten etwas mehr wahrgenommen wird, als was man durch die nämlichen optischen Hülfsmittel bei gehöriger Aufmerksamkeit auch schon beobachten kann, wenn dieselben im einfachen Mikroskope zur Anwendung kommen. Wenn man daher auch mit einer Linse, die z. B. 100 Mal vergrössert, leicht eine 1000malige Vergrösserung erreichen kann, indem der Schirm in 2,5 Meter Entfernung kommt, so hat dieses Bild doch nichts voraus vor einem zehnmal kleineren, welches in einer Entfernung von 25 Centimeter entsteht.

Ist somit aus diesen Gründen die starke Vergrösserung der Bildmikroskope nur geeignet, den Unkundigen zu täuschen, und können dieselben als Instrumente zu Untersuchungen kaum in Frage kommen, so haben sie doch den nicht unerheblichen Vorzug, dass sie vielen Zuschauern auf einmal ein vergrössertes Bild vorzuführen vermögen. Bei Vorlesungen und bei öffentlichen Demonstrationen erweisen sich daher die Bildmikroskope dennoch nützlich, zumal wenn die Zuschauer früher oder später Gelegenheit bekommen, die Einzelnheiten jedes Objectes durch andere und bessere Mikroskope genauer zu beobachten.

Digitized by Google

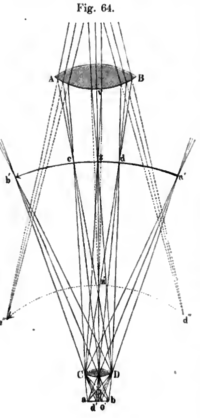
Drittes Kapitel.

Das zusammengesetzte dioptrische Mikroskop.

145 Vereinigt man die in den beiden vorhergehenden Kapiteln betrachteten Mikroskope zu Einem Instrumente, so erhält man das **zusammengesetzte dioptrische Mikroskop.**

Betrachten wir dasselbe zunächst in seiner allereinfachsten Form, deren optische Zusammensetzung in Fig. 64 dargestellt wird. Gleich ausserhalb des Brennpunktes der Linse *CD* befindet sich ein Object *ab*, wovon Lichtkegel ausgehen; diese erzeugen auf der anderen Seite der Linse ein verkehrtes und vergrössertes Bild *b' a'*. Es ist ein in gekrümmter Ebene liegendes Luftbild (§. 43), das gleich gut wie in einem Bildmikroskope sichtbar sein würde, wenn man es an dieser Stelle mittelst eines Schirmes auffinge. Um nun dieses Bild noch stärker vergrössert wahrzunehmen, betrachtet man dasselbe durch ein einfaches Mikroskop, welches hier durch die Linse *AB* dargestellt wird und mittelst deren die ins Auge eintretenden Strahlen jenen Grad von Divergenz erlangen, den sie besitzen würden, wenn das Object in der richtigen Deutlichkeitsentfernung *vz'* sich befände. Die dem Objecte zugekehrte Linse heisst das **Objectivglas**, die **Objectivlinse** oder einfach das **Objectiv**, jene

Fig. 64.



Linse aber, vor welcher das Auge gehalten wird, benennt man als Augenglas oder Ocular.

Aus Fig. 64 ist ferner zu entnehmen, dass, wenn der Durchmesser des Objectes eine gewisse Grösse hat, sein Bild nicht mehr mit dem Ocular übersehen werden kann. Dies folgt aus dem, was über das Gesichtsfeld des einfachen Mikroskopes gesagt worden ist (§. 120). Nur die Strahlen des zwischen c und d enthaltenen Bildabschnittes, welcher dem Stück $d'c'$ des Objectes entspricht, erreichen die Linse und das Auge; die Strahlen dagegen, welche von den Strecken cb' und da' des Bildes kommen, gehen links und rechts an den Rändern der Linse vorbei. Verlängert man nun die durch das Ocular gebrochenen Strahlen, welche von den Punkten c, z und d des Bildes stammten, bis sie auf der anderen Seite der Linse AB wiederum zusammentreffen, dann werden diese zusammen mit den übrigen Vereinigungspunkten dort ein vergrössertes Scheinbild $c''z'd''$ des Bildabschnittes czd geben; dieses Scheinbild liegt aber in einer gekrümmten Ebene, deren Krümmung stärker ist als jene des wahren Bildes $b'a'$. Es folgt dies daraus, dass schon ein in gerader Ebene gelegenes Object, wie früher (§. 108) dargethan, ein Scheinbild mit aufwärts gerichteter Krümmung giebt, wenn es durch eine einzelne Linse betrachtet wird. Da nun hier die Ränder c und d des Bildes noch entfernter vom optischen Mittelpunkte der Linse AB liegen, als wenn das Bild in einer geraden Ebene befindlich wäre, so folgt hieraus, dass die Aufwärtskrümmung in diesem Falle noch bedeutender sein muss. Ausserdem ist die als Ocular dienende Linse immer entschieden grösser als die Pupille, und dadurch kommt zugleich der bereits früher (§. 109) geschilderte Einfluss, welchen der Randtheil einer Linse auf den Gang der Strahlen bis zur Pupille hin ausübt, zur Geltnng. Beiderlei Ursachen zusammen haben zur Folge, dass ein aus quadratischen Maschen bestehendes Netz sich so wie in Fig. 52 (S. 98) ausnimmt.

Das zusammengesetzte Mikroskop in seiner einfachsten Einrichtung 146
unterscheidet sich daher immer vom Doublet. Beim Doublet ist der gegenseitige Abstand beider Linsen kürzer als die Entfernung des Vereinigungspunktes der Strahlen der vorderen Linse: entsteht dagegen zwischen zwei Linsen ein Bild, welches von der hinteren oder oberen Linse weit genug entfernt ist, um durch dieselbe vergrössert wahrgenommen werden zu können, so hat man ein zusammengesetztes Mikroskop. Die letztere Bedingung ist aber unerlässlich; denn wenn das Bild zu nahe der vorderen Linse sich erzeugt, dann gelangen die Strahlen naher Objecte mit zu starker Divergenz ins Auge, und es entsteht kein Bild auf der Netzhaut, ausgenommen von solchen Objecten, die ziemlich entfernt von der vorderen Linse sind, d. h. man hat ein Teleskop statt eines Mikroskopes. In der That haben beiderlei Instrumente in der Hauptsache ganz die nämliche

Digitized by Google

Zusammensetzung und man kann das Teleskop ganz füglich ein Mikroskop für entfernte Gegenstände nennen. Auch ersieht man hieraus, wie es möglich ist, sogenannte polydynamische Mikroskope zu verfertigen, d. h. solche Instrumente, die abwechselnd als Mikroskop und als Teleskop dienen können; bedarf es doch dazu weiter nichts, als dass, während die optische Zusammensetzung ganz unverändert bleibt, die Entfernung zwischen dem Ocular und dem Objectivglase je nach der Entfernung des Objectes verändert wird.

Da nun das Bild stets um so weiter hinter der Linse entsteht (§. 42), je näher das Object dem Hauptbrennpunkte ist, so muss man, wenn das Bild in die gehörige Entfernung vom Augenglase kommen soll, damit die Strahlen den gleichen Grad von Divergenz besitzen, wie jene, welche von Objecten aus der Entfernung der mittleren Sehweite ausgehen, die Entfernung zwischen dem Objectiv- und Ocularglase für nahe Objecte vergrössern, für entfernte dagegen verkürzen.

Es folgt hieraus ferner, dass man es in seiner Gewalt hat, die vergrössernde Kraft eines zusammengesetzten Mikroskopes nach Willkür zu verstärken, indem man das Ocular vom Objectivglase entfernt und zugleich das Object näher an die Linse bringt, so dass das Bild stets in gleicher Entfernung vom Ocular bleibt. Dadurch nämlich wird das Bild immer grösser und grösser, ohne dass das Vergrösserungsvermögen des Oculars eine Veränderung erleidet, und wenn man daher die Stelle, wo sich das Bild vor dem Ocular formt, weiter entfernt vom Objectivglase rückt, so wird auch die vergrössernde Kraft des Mikroskopes in gleichem Verhältnisse zunehmen.

147 Bei der Berechnung der vergrössernden Kraft eines zusammengesetzten Mikroskopes von einfachster Einrichtung sind demnach zu berücksichtigen:

a. Die Brennweite des Objectivglases, weil davon die Stelle, wo das Luftbild entsteht, sowie dessen Grösse abhängig sind. Das Bild ist bei einem wahren Mikroskope (mit Ausschluss der soeben mit einem Worte erwähnten polydynamischen oder teleskopischen Mikroskope) stets grösser als das Object, und letzteres befindet sich also immer zwischen dem Hauptbrennpunkte und der doppelten Brennweite der Linse (§. 42).

b. Die Brennweite des Oculars.

c. Die mittlere Sehweite des Auges. Aus b und c lässt sich auf die oben (§§. 111 und 112) angegebene Weise zunächst die Stelle berechnen, welche das Luftbild einnehmen muss, um vergrössert und deutlich durch das Ocular wahrgenommen werden zu können, und auch die Vergrösserung dieses Bildes lässt sich daraus berechnen. Kennt man nun

d. die Distanz beider Linsen, dann weiss man auch, wie entfernt das Bild von der vorderen Linse ist, und mithin kennt man auch dessen

Grösse. Diese letztere Entfernung nämlich hat man, wenn man von der Distanz der beiden Linsen die Entfernung des Bildes vom Ocular subtrahirt, die Grösse des Bildes aber erhält man, wenn man die Differenz zwischen der Entfernung des Bildes und der Brennweite der Linse mit der Brennweite dividirt und den Quotienten mit dem Durchmesser des Objectes multiplicirt (§. 130).

Die Gesammtvergrösserung erhält man dann, wenn man die Vergrösserung des Bildes mit jener durch das Ocular erreichten Vergrösserung multiplicirt.

Erläutern wir dies wieder durch ein Beispiel. Man wünscht die Vergrösserung eines Objectes zu berechnen, wenn folgende Grössenverhältnisse vorhanden sind:

Durchmesser des Objectes	$0{,}5^{mm}$
Brennweite des Objectivglases	6 „
Brennweite des Oculars	30 „
Distanz der beiden Linsen	200 „
Mittlere Sehweite des Auges A (§. 66). . . .	162 „

Nach §. 112 muss hier die Entfernung des Bildes vom Ocular $30 - \frac{900}{162 + 30} = 25{,}3^{mm}$ sein, und mithin liegt das Bild $200 - 25{,}3 = 174{,}7^{mm}$ hinter dem Objectivglase. Bei dieser Entfernung ist das Bild $\frac{174{,}7 - 6}{6} \,.\, 0{,}5 = 14{,}05^{mm}$ gross, und die Vergrösserung ist mithin eine 28,1fache. Das Ocular vergrössert (§. 111) $\frac{162 + 30}{30} = 6{,}4$ Mal, und mithin ist die Gesammtvergrösserung $28{,}1 \,.\, 6{,}4 = 179{,}84$ Mal. Ein Object von $0{,}5^{mm}$ Durchmesser, durch ein solches Mikroskop angeschaut, würde also für einen, der die angegebene mittlere Sehweite hat, einen Durchmesser von $89{,}92^{mm}$ haben.

Aendert sich aber die mittlere Sehweite, so werden auch alle diese Zahlen andere. Führen wir z. B. die nämliche Berechnung für das Auge von B (§. 66) mit der mittleren Sehweite von 372^{mm} aus, so erhalten wir für die Entfernung des Bildes vom Ocular $27{,}8^{mm}$, für die Entfernung zwischen Bild und Objectivlinse $172{,}2^{mm}$, für die Vergrösserung des Bildes die Zahl 27,7 und für dessen Durchmesser $13{,}85^{mm}$, also etwas geringere Werthe als im vorigen Falle. Dagegen vergrössert das Ocular für B 13,4 Mal, und dadurch erreicht die Zahl der Gesammtvergrösserung den hohen Werth von 371,18.

Bis jetzt haben wir der Einfachheit halber angenommen, es werde 148
das Auge dicht ans Ocular angehalten. Das ist nun aber in der Wirk-

Digitized by Google

lichkeit niemals der Fall. Das Auge oder richtiger die Pupille muss dahin zu liegen kommen, wo alle aus dem Mikroskope heraustretenden Strahlen sich im kleinsten Raume vereinigen, damit sie alle von der Pupille können aufgefangen werden. Diese Stelle ist demnach jene, wo das Bild des als Object angenommenen Objectivs entsteht, während das Augenglas die brechende Linse ist. Deshalb muss auch die Distanz zwischen der Pupille und dem Ocular stets grösser sein als die Brennweite des letzteren. Nach dem früher Mitgetheilten (§. 119) muss aber damit auch eine Abnahme der Vergrösserung verbunden sein, und somit bedürfen die berechneten Werthe einer Correction. In dem angenommenen Falle beträgt die Distanz zwischen Objectiv und Ocular 200mm, die Brennweite des Oculars ist 30mm, mithin liegt die Pupille $\frac{200 \,.\, 30}{200 - 30} = 35{,}3^{mm}$ hinter dem Ocular. Für eine mittlere Sehweite von 162mm ist daher die Entfernung des scheinbaren Bildes vom Ocular $162 - 35{,}3 = 126{,}7^{mm}$. Das Luftbild (wahre Bild), welches durch das Objectiv erzeugt wird, ist dann $30 - \frac{900}{126{,}7 + 30} = 24{,}3^{mm}$ vom Ocular entfernt, und der Abstand dieses Lufthildes vom Objective ist demnach $200 - 24{,}3 = 175{,}7^{mm}$. Berechnet man nach diesen Daten die Vergrösserung, so erhält man für das Objectiv eine 28,3fache, für das Ocular eine 5,2fache. Die Gesammtvergrösserung ist also 147,16 und nicht 179,84, welche letztere Zahl erhalten wird, wenn man die Stellung der Pupille ausser Acht lässt.

149 Die mittlere Sehweite des Auges übt auch Einfluss auf die Entfernung, worin sich das Object von dem Objective befinden muss, wenn das Bild an der gehörigen Stelle vor dem Ocular entstehen soll. Bleibt die Distanz beider Linsen unverändert, dann wird der Kurzsichtige, dessen Auge eine stärkere Annäherung des Bildes zum Ocular verlangt, dafür sorgen müssen, dass der grösseren Entfernung des Lufthildes vom Objective eine geringere Distanz zwischen Object und Objectiv entspricht. Diese letztere Distanz wird durch einen Quotienten ausgedrückt, worin das Product aus der Bildentfernung und der Brennweite durch deren Differenz dividirt wird; für A beträgt sie im vorstehenden Falle

$$\frac{174{,}7 \,.\, 6}{174{,}7 - 6} = 6{,}214^{mm}, \text{ für B aber } \frac{172{,}2 \,.\, 6}{172{,}2 - 6} = 6{,}216^{mm}.$$

Hat eine Objectivlinse nur 6mm Brennweite oder selbst noch weniger, dann übt der geringe Unterschied ($^1/_{500}$mm) freilich nur einen unbedeutenden Einfluss auf das Deutlichsehen solcher Personen, deren Augen eine verschiedene Sehweite besitzen. Auch lehrt die Erfahrung, dass bei zunehmender Vergrösserung durch Benutzung stärkerer Objective die Stellung des zusammengesetzten Mikroskopes für verschiedene Augen nicht in gleichem Maasse verändert zu werden braucht, wie bei schwächeren

Digitized by Google

Vergrösserungen. Vertauschen wir z. B. das Objectiv von 6^{mm} Brennweite mit einem anderen, welches 20^{mm} Brennweite hat, dann muss die Entfernung des Objectes von der Objectlinse $22{,}585^{mm}$ für A und $22{,}628^{mm}$ für B betragen. Hier beträgt demnach die Differenz etwa $^{1}/_{23}{}^{mm}$, was schon ganz merklich ist.

Im Bisherigen ist die Theorie des zusammengesetzten Mikroskopes in den Hauptzügen angegeben worden. Doch fehlt noch viel daran, dass ein Instrument von so einfacher Einrichtung zu genauen und sorgfältigen Beobachtungen sich eignet. Seine Unvollkommenheit lässt sich auf folgende drei Punkte zurückführen: 150

a. Das Gesichtsfeld ist sehr klein, wie schon aus Fig. 64 zu entnehmen ist, wo nur ein Theil der Strahlen, welche vom Objecte auf das Objectiv treffen, das Auge erreicht.

b. Die Ebene, in welcher das Scheinbild liegt, ist stark gekrümmt, und die Gestalt des Bildes stimmt daher nicht mit jener des Objectes.

c. Ein solches aus zwei Linsen bestehendes Mikroskop theilt in hohem Grade alle die Mängel, welche eine Folge der sphärischen sowohl als der chromatischen Aberration sind.

Betrachten wir daher jetzt die Mittel, welche angewendet werden, um das zusammengesetzte Mikroskop von diesen Unvollkommenheiten zu befreien und wodurch es bereits einen Grad von Vollkommenheit erreicht hat, den man vor mehreren Jahren noch kaum hätte erwarten dürfen.

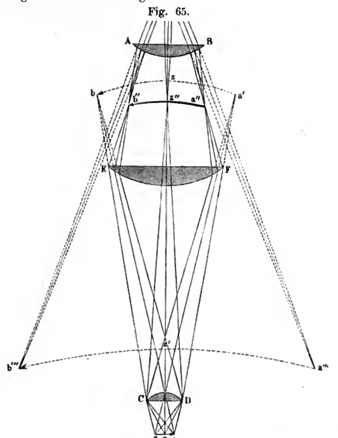
Unter diesen Mitteln kommen auch solche vor, die schon seit langer Zeit im Gebrauche gewesen sind. Dazu gehört das Einschieben einer dritten Linse (Fig. 65), in solcher Entfernung von den beiden anderen, dass ein Bild des Objectes zwischen dieser eingeschobenen Linse und dem Ocular entsteht. Diese eingeschobene Linse bewährt sich in mehr denn Einer Hinsicht nützlich. 151

Zunächst vereinigt sie die Strahlen wieder, welche, wie aus der Figur zu entnehmen ist, vom Objecte ausgehen. Ohne die Linse EF würde das Bild in $b'a'$ sich gebildet haben; durch diese Linse hingegen werden die Strahlenkegel $Cb'D$, $Da'C$ und alle übrigen, welche zur Formation des Bildes beitragen, nach innen gebogen, so dass ein anderes Bild $b''a''$ entsteht. Dasselbe ist zwar kleiner als $b'a'$ sein würde, allein es kann vollständig durch das Ocular AB übersehen werden, oder was das Nämliche ist, das ganze Object ab liegt nun im Gesichtsfelde, nicht blos ein Theil desselben, wie $d'c'$ in Fig. 64. Das Mikroskop verliert daher wohl an Vergrösserung, nämlich um soviel als das Bild $b''a''$ kleiner ist als $b'a'$, das Gesichtsfeld aber ist grösser geworden in Folge der Sammlung von Strahlen, die zum Theil unbenutzt verloren gingen. Diesem zumeist ins

Digitized by Google

Auge fallenden Nutzen verdankt diese eingeschobene Linse den Namen Sammelglas oder Collectivglas.

Fig. 65.



Sodann nützt das eingeschobene Glas dadurch, dass die Lichtstärke des Bildes zunimmt. Alle Strahlen nämlich, die zur Bildung von $b'a'$ gedient haben würden, werden in dem kleineren Bilde $b''a''$ vereinigt, und da die Lichtstärke im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Durchmesser der Bilder zunimmt, so würde das Bild $b''a''$, wenn es z. B. nur halb so gross wäre wie $b'a'$, viermal heller sein, abgesehen zunächst von dem geringen Verluste durch Reflexion und Absorption.

Einen zwar weniger ins Auge fallenden, aber nicht minder erheblichen Dienst leistet dann das Collectivglas dadurch, dass es beide Aberrationen verbessert. Dass eine solche Verbesserung statt haben muss, lässt sich in gleicher Weise darthun, als es §. 125 für die Verbindung zweier Linsen zu einem Doublet bereits geschehen ist. Zwischen dem

Digitized by Google

Collectivglase und dem Ocular findet auch eine Kreuzung der Lichtstrahlen statt, und aus dem dort Angeführten entnimmt man deutlich, dass, da die violetten Strahlen immer auf stärker brechende Theile des Oculars treffen, die verschiedenfarbigen Strahlen sich immer mehr nähern müssen, so dass sie ins Auge in einer solchen relativen Richtung hineintreten, die sich dem parallelen Zustande oder dem des weissen Lichtes mehr nähert als wenn kein Collectivglas vorhanden ist. (Fig. IX der Farbendrucktafel.) Dasselbe gilt aber auch von der sphärischen Aberration; auch diese wird verbessert, weil, wie schon aus Fig. 65 zu entnehmen ist, jene Strahlen, welche im Collectivglase *EF* zunächst dem Rande durchgehen, das Ocular *AB* näher der Axe treffen, und umgekehrt. Die Aberrationen beider Linsen wirken demnach im entgegengesetzten Sinne, und bis zu einem gewissen Punkte hin können sie einander beiderseits aufheben.

Die Theorie lehrt, dass diese Verbesserung am vollkommensten ist, wenn das Collectivglas eine dreimal so grosse Brennweite hat als das Ocular, und wenn ihre wechselseitige Distanz der doppelten Ocularbrennweite gleichkommt, so dass die Brennweite des Collectivs, die Distanz zwischen Collectiv und Ocular und die Brennweite des Oculars sich wie 3, 2 und 1 zu einander verhalten. Wir werden später sehen, dass in den aplanatischen Mikroskopen diese Entfernungen einige Modificationen erfahren können, entsprechend dem Grade der Verbesserung der Objective.

Nicht geringer ist der Nutzen anzuschlagen, den das Collectiv dadurch schafft, dass es auf die wirksamste Weise die Krümmung der Bilder und die damit zusammenhängende ungleiche Vergrösserung in den verschiedenen Abschnitten des Gesichtsfeldes zu beseitigen im Stande ist*). Das hinter dem Collectivglase gelegene Bild entsteht durch das Zusammentreffen von Strahlenkegeln, deren Basis dem Objective entspricht, und deren Vereinigungspunkt in dem etwas gewölbten Luftbilde befindlich ist. Das Bild ist dabei dem Collective näher, als das Collectiv dem Objective, so dass deshalb die Strahlenkegel bereits sehr verschmälert sind, wenn sie das Collectiv erreichen; dem zu Folge werden alle Strahlenkegel gleichsam nach der Axe zu gebogen und das Bild wird verkleinert, aber nicht auf eine gleichartige Weise, wie in dem Falle, wenn die Linse unendlich dünn wäre. Denn anders gestaltet sich die Sache, sobald man ein brechendes Medium mit gewölbter Oberfläche benutzt. Dann werden jene Theile des Bildes, welche aus jenen am weitesten von der Axe auffallenden und am stärksten gebrochenen Strahlenkegeln resultiren, die stärkste Ver-

*) Ich bemerkte schon weiter oben (Seite 100), dass ich meine frühere Ansicht über das Ursächliche der Gesichtsfeldkrümmung in Gemässheit der von Naegeli und Schwendener erhobenen Gegenbemerknngen geändert habe. Den theoretischen Entwickelungen der genannten Forscher über diesen Gegenstand kann ich mich aber nicht ganz anschliessen, wie der Leser begreifen wird, der sich die Mühe geben will, ihre Ansicht mit meiner Auffassung zu vergleichen.


Digitized by Google

kleinerung erfahren, und für jene, welche auf die Axe selbst treffen, wird die Verkleinerung am geringsten ausfallen.

Hiervon kann man sich überzeugen und den ganzen Gang der Sache kann man sich anschaulich machen, wenn man durch ein gewöhnliches zusammengesetztes Mikroskop mit Objectiv aber ohne Ocular, oder wenn man durch ein Sonnenmikroskop zunächst das Bild eines durch gerade Linien getheilten Glasmikrometers auf einem ebenen Schirme auffängt. Misst man an diesem Bilde die Abstände der Linien, so haben dieselben überall die nämliche Grösse, d. h. also die Vergrösserung ist eine gleichmässige. Wird indessen weiterhin eine Collectivlinse in die Bahn der Strahlen eingeschoben und das Bild wiederum auf einem ebenen Schirme aufgefangen, so begegnet man jetzt anderen Verhältnissen. Der wechselseitige Abstand der Linien nimmt nach dem Rande hin ab, und da diese Verkleinerung concentrisch um die Axe herum regelmässig zunimmt, so müssen nothwendiger Weise die geraden Linien innen gebogen erscheinen, und ein aus vierseitigen Maschen bestehendes Netz gestaltet sich nun so, wie wir es in Fig. 66· sehen. Wird der relative Abstand des Bildes

Fig. 66.

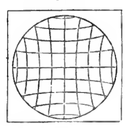
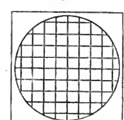


Fig. 67.

vom Collective vergrössert, so steigert sich diese Wirkung der peripherischen Theile mehr und mehr und die Linien werden immer stärker gebogen, bis die Strahlenbündel sich nochmals gekreuzt haben und ein zweites Bild zu Stande bringen, worin die Biegung gerade entgegengesetzt ist. Dieses zweite Bild kommt indessen im Mikroskope nur dann zu Stande, wenn man ein bildumkehrendes Ocular benutzt. Durchs Ocular wird das erste Bild wie durch eine Lupe betrachtet. Wir sahen aber früher (§. 109), dass dadurch eine dem Collective entgegengesetzte Wirkung hervortritt, sobald nur der Durchmesser des Oculars, wie das ja immer der Fall ist, jenen der Pupille übertrifft. Ein Netz quadratischer Maschen stellt sich dann so dar wie in Fig. 67. Offenbar wird nun bei einem entsprechenden Verhältnisse des Collectivs zum Ocular die Wirkung beider sich wechselseitig neutralisiren können, so dass die geraden Linien auch im Scheinbilde überall im Gesichtsfelde gerade bleiben. Hat man ein Ocular von der Einrichtung, wie in den Amici'schen Mikroskopen, wo das

Ocular sowohl als das Collectiv in besondere Röhren eingefügt sind, die sich in einander verschieben, um ihren Abstand vergrössern und verkleinern zu können, so zeigt es sich, dass nur bei einem bestimmten Abstande der beiden Gläser ein Netz quadratischer Maschen wirklich wie in Fig. 68 sich darstellt. Bei Verkürzung dieses Abstandes erlangt das Ocular den überwiegenden Einfluss, und umgekehrt das Collectiv, wenn der Abstand vergrössert wird; in Uebereinstimmung hiermit ändert sich dann auch die Form der Maschen in dem Bilde.





Die Oculare haben fast immer eine derartige Einrichtung, dass ein geringes Uebergewicht auf ihrer Seite besteht, die Vergrösserung also nach der Peripherie hin etwas zunimmt. Dies geschieht zum Theil deswegen, weil jener Abstand der beiden Gläser, wobei das Gesichtsfeld ganz gerade ist, nicht auch gleichzeitig als derjenige zu gelten hat, wo die stärkste Verbesserung der Aberrationen stattfindet. Da aber die Verbesserung der Aberrationen, wenigstens für den mittleren Theil des Gesichtsfeldes, mehr ins Gewicht fällt, so bringt man die Geradstellung des Gesichtsfeldes der Aberrationsverbesserung meistens mehr oder weniger zum Opfer. Ein zweiter Umstand kommt dann noch dazu. Entfernt man die Linsen soweit von einander, dass das Gesichtsfeld gerade wird, dann tritt eine merkliche Verkleinerung des letzteren ein und die Vergrösserung nimmt ab. Nur zum Behufe genauer mikrometrischer Bestimmungen ist es erforderlich, dass die Vergrösserung an allen Punkten des Gesichtsfeldes die gleiche ist, und deshalb sollten die Oculare so eingerichtet werden, dass durch Vermehrung des Abstandes zwischen Collectiv und Ocular das Gesichtsfeld vollkommen gerade sich herstellen lässt.

Aus Vorstehendem ergiebt sich zugleich, dass Krümmung des Gesichtsfeldes und Wölbung desselben zwei verschiedene Dinge sind. Durch die letztere erfolgt freilich auch in dem Bilde eine Beugung ursprünglich gerader Linien, und ist das Bild in die Deutlichkeitsentfernung projicirt, dann sind die Linien ebenfalls nach aussen gekrümmt, so dass zu der durch das Ocular in horizontaler Richtung hervorgerufenen eigentlichen Krümmung dieser Effect noch hinzutritt, und sich zugleich mit jener durch die entgegengesetzte Wirkung des Collectivs beseitigen lässt. Indessen die Wölbung selbst verbleibt, wenn auch die Linsen des Oculars sich so verhalten, dass überall im Gesichtsfelde eine gleichmässige Vergrösserung eintritt und auch zunächst dem Rande die geraden Linien wirklich gerade erscheinen. Auch in diesem Falle muss das Mikroskop noch etwas tiefer eingestellt werden, wenn an einem Objecte die nämliche Linie gleich scharf am Rande des Gesichtsfeldes wie in dessen Mitte ge-

Digitized by Google

sehen werden soll. Man muss deshalb das gerade Gesichtsfeld und das ebene Gesichtsfeld von einauder unterscheiden. Jenes lässt sich vollkommen erreichen, nicbt aber dieses, wenigstens nicht bei der gewöhnlichen Einricbtung der Mikroskope. Wahrscheinlicher Weise wäre diese Correctiou durch Einschicben einer concaven Linse zu erreichen. Es ist mir unbekannt, ob Andere bereits in diesem Sinne Versuche angestellt haben. Aus eigener Erfahrung weiss icb aber, dass das Einscbieben einer solchen Liuse die Aberratiouen sehr vermebrt und dadurcb eher scbädlicb wirkt. Freilich war die von mir benutzte concave Linse nicht achromatisch.

Jedenfalls ist die Wölbung des Luftbildes im zusammengesetzten Mikroskope immer nur unbedeutend, und der Beobachtung ist sie nur wenig hinderlich.

152 Da das Einschieben des Collectivglases eine Verkleinerung des Bildes mit sich bringt, so ergiebt es sich von selbst, dass das in §. 147 angegebene Verfahren, mittelst dessen man die Vergrösserung eines zusammengesetzten Mikroskopes, welches nur aus einem Objective und einem einfacben Ocular besteht, ausfindig macbt, einer Abänderung bedarf. Man muss nämlich die Brennweite berechnen für eine einzige Linse, die eben so wirkt, wie die Vereinigung des Collectivs und Oculars. Keunt man die Brennweite einer solchen äquivalenten Linse und folglich auch ihre vergrössernde Kraft, dann lässt sicb die Gesammtvergrösserung leicht ausfindig machen, wenn man so wie früher die Grösse des Luftbildes, welcbes ohne vorhandenes Collectiv entstanden sein würde, mit dem Vergrösserungswerthe der äquivalenten Linse multiplicirt.

Die Brennweite einer äquivalenten Linse ist $= \frac{pp'}{p + p' - d}$, wo p die Brennweite des Collectivs, p' die Brennweite des Oculars und d die Distanz der beiden Linsen bezeichnet: mit anderen Worten, man multiplicirt die Brennweiten des Collectivs und des Oculars mit einander, und in dieses Product dividirt man mit der Summe beider, weniger die Distanz beider Linsen. Recbnen wir z. B. die Brennweite des Collectivs zu 30^{mm}, jene des Ocnlars zu 10^{mm} und beider Distanz zu 20^{mm}, so ist die Brennweite der äqnivalenten Linse $\frac{30 \cdot 10}{30 + 10 - 20} = 15^{mm}$, und verhält sich zu jener des Oculars wie 3 zn 2. Daraus folgt dann, dass, wenn die Brennweiten und die Distanz der beiden Linsen das hier angenommene Verhältniss haben, wobei die Aberrationen am stärksten verbessert werden, durch das Collectivglas das Bild gerade auf $^2/_3$ verkleinert wird, also auch das ganze Mikroskop nur $^2/_3$ jener Vergrösserung gewährt, die es bringen würde, wenn das Collectivglas weggenommen und das Bild nur durcb das Ocular betrachtet würde.

Bringt man das Ocular und das Collectiv eiuander näher, so nimmt

Digitized by Google

die vergrössernde Kraft zu. Wären die obigen Linsen einander bis auf 15mm genähert, dann würde die Brennweite der äquivalenten Linse 12mm betragen. Ist ihre wechselseitige Distanz noch kleiner als die Brennweite des Oculares, dann übertrifft ihre Gesammtwirkung jene des Oculares allein. Bei einer Distanz von 5mm z. B. würde die Brennweite der äquivalenten Linse = 8,6mm sein. Aber in einem solchen Falle liegt das Bild nicht mehr zwischen den beiden Linsen, sondern vor dem Collectivglase, und es ist eigentlich eine andere Einrichtung des Oculares entstanden, wovon später noch näher gesprochen werden soll.

Ist auch das Einschieben eines Collectivs bereits als eine bedeutende Verbesserung anzusehen, so ergiebt sich doch weiter aus dem, was schon wiederholt über die Vorzüge der Linsensysteme vor einzelnen Linsen gesagt worden ist, dass man die Verbesserung noch weiter treiben kann, wenn man statt der einzelnen Linsen passende Combinationen wählt. Jedes der drei zusammensetzenden Gläser kann durch ein System von zwei oder mehr Linsen ersetzt werden, die zusammen wie eine einzige Linse wirken, deren Krümmungen und Abstände aber so einzurichten sind, dass durch ihre vereinigte Wirkung die Aberrationen vermindert werden. In der That giebt es eine grosse Anzahl möglicher Combinationen und viele davon sind aus theoretischen Gründen vorgeschlagen oder praktisch ausgeführt worden. Es würde zu weit führen, wollte ich auf jede einzelne näher eingehen; auch würde es hier nicht einmal ganz passend sein, weil eine Anzahl derselben bereits der Geschichte anheimgefallen ist. Die früheren Bestrebungen nach Verbesserung des zusammengesetzten Mikroskopes und die neueren unterscheiden sich nämlich hauptsächlich darin, dass man früherhin durch die Stellung des Oculares und des Collectivs die Verbesserung zu erreichen suchte, während man jetzt eingesehen hat, dass die Art dieser Stellung auf die genaue Wirkung eines Mikroskopes allerdings nicht ohne Einfluss ist, es aber doch weit mehr darauf ankommt, dass schon das erste vergrösserte Bild grossentheils frei von Aberrationen ist. Sind die Aberrationen einmal wirksam, so lassen sie sich durch das Ocular und Collectiv zwar noch etwas verbessern, aber doch immer nur auf eine sehr beschränkte Weise. 153

Ich wende mich jetzt zur Betrachtung der optischen Einrichtung der neueren Mikroskope, und hier kommt zunächst die Einrichtung ihres wichtigsten Theils, des **Objectivs**, in Betracht. 154

Wir haben oben (§. 60) gesehen, dass durch die Vereinigung einer biconvexen Kronglaslinse mit einer planconcaven oder biconcaven Flintglaslinse eine Doppellinse erhalten werden kann, wodurch die chromatische sowohl als sphärische Aberration eine entschiedene Besserung erfahren, sobald beide Linsen in einem passenden Verhältnisse zu einander

stehen. Wir haben aber auch gesehen (§. 63), dass aus besonderen Gründen die Aberration durch diese Verbindung niemals vollständig aufgehoben werden kann. Eine solche achromatische Doppellinse verdient deshalb allerdings den Vorzug vor einer gewöhnlichen Linse, selbst vor einer Linse der besten Form, die für sich allein als Objectiv benutzt wird. Allein die Verbesseruug der Aberration wird doch nur auf unvollkommene Weise damit erreicht und ausserdem ist es sehr schwer, solche achromatische Doppellinsen mit sehr kurzer Brennweite anzufertigen.

Man würde deshalb die Vergrösserung hauptsächlich durch stärkere Oculare zu erreichen suchen müssen oder dadurch, dass man das Mikroskop länger macht. In diesen beiden Mitteln hat man aber immer nur sehr unvollkommene Aushülfen und man erreicht dabei sehr bald Grenzen, die nicht überschritten werden können, ohne dass die Schärfe des an Grösse allerdings noch zunehmenden Bildes dadurch in einer Weise verliert, dass man von seinen Einzelnheiten weniger wahrzunehmen im Stande ist, als bei einer schwächeren, dabei aber scharfen Vergrösserung. Wo demnach nur eine schwache Vergrösserung erforderlich ist, da sind einzelne achromatische Doppellinsen immer noch anwendbar, weil sie den grossen Vortheil gewähren, dass sie eine weite Oeffnung gestatten und also viel Licht durchlassen. Sobald aber eine irgend bedeutende Vergrösserung benutzt werden muss, dann verliert dieser Vorzug viel von seinem Werthe.

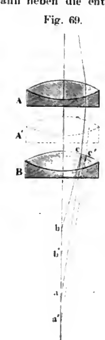
Glücklicher Weise giebt es ein Mittel, um sowohl die vergrössernde Kraft der achromatischen Doppellinsen zu erhöhen, als auch die Aberrationen noch weiter zu verbessern: man muss sie nämlich zu Systemen vereinigen. Was das erste betrifft, die zunehmende Vergrösserung nämlich durch eine derartige Vereinigung, so gilt hier ganz das Nämliche, was früher (§. 124) über Doublets und Triplets im Allgemeinen gesagt worden ist. Ueber den zweiten Punkt dagegen, die weitere Verbesserung der Aberrationen, muss ausser dem dort Angeführten noch etwas Näheres zur Aufklärung mitgetheilt werden.

155 Weiter oben (§. 63) stellte es sich heraus, dass jede Doppellinse nur für zwei in der optischen Axe gelegene Punkte wirklich aplanatisch ist, und dass die von allen anderen dazwischen oder ausserhalb gelegenen Punkten ausgehenden Strahlenbündel überverbessert oder unterverbessert werden. Denken wir uns nun (Fig. 69), der entferntere aplanatische Brennpunkt der Doppellinse *A* sei in *a*, so wird die Linse für das von dort ausgehende Strahlenbündel vollkommen verbessert sein, für jene Strahlen dagegen, welche von höher gelegenen Punkten (bis zu dem hier nicht in Betracht kommenden kürzeren aplanatischen Brennpunkte hin) ausgehen, ist sie überverbessert, und für jene von tieferen Punkten ausgehenden Strahlen unterverbessert. Bringt man dann vor diese Dop-

Digitized by Google

pellinse eine andere Linse *B*, und zwar dergestalt, dass die von ihrem kürzesten aplanatischen Brennpunkte *b* ausgehenden Strahlen an der aufwärts sehenden Fläche bei *c* mit jenen Strahlen zusammentreffen, welche von dem entfernteren aplanatischen Brennpunkte der Linse *A* ausgehen, dann heben die entgegengesetzten Aberrationen beider Linsen einander wechselseitig auf, und so geschieht es, dass ihre Vereinigung von Strahlenbündeln, welche von verschiedenen Punkten der optischen Axe ausgehen, immer von Aberration frei ist. — Werden die beiden Doppellinsen einander mehr genähert, so dass z. B. *A* in *A'* zu liegen kommt, der entferntere aplanatische Brennpunkt dieser Linse also in *a'* sich befindet, dann wird das Strahlenbündel, welches nach dem Durchgange durch die Linse *B* mit jenem von *a'* kommenden Strahlenbündel zusammenfällt, nicht mehr dem kürzeren aplanatischen Brennpunkte *b* der Linse *B* entsprechen, sondern dem ferner liegenden Punkte *b'*, der zwischen ihren beiden aplanatischen Brennpunkten gelegen ist, und mithin wird das System alsdann überverbessert sein. Werden dagegen die Doppellinsen *A* und *B* weiter von einander entfernt, dann entsteht eine Unterverbesserung.

Fig. 69.



Aus dieser zuerst von Lister (*Philos. Transact.* 1830, p. 198) gegebenen Erklärung über Verbesserung der Aberration in den aus achromatischen Doppellinsen bestehenden Systemen ersieht man, dass bereits durch die Vereinigung von nur zwei solchen Linsen die Aberration grossentheils beseitigt werden kann. Zu stärkeren Vergrösserungen benutzt man aber mit Vortheil Systeme von drei Linsen, die dann wiederum in solche Distanz von einander gebracht werden, dass ihre besonderen Aberrationen gegenseitig einander aufheben. Nach Lister's Erfahrung ist es zweckmässig, durch die unterste Linse ein etwas unterverbessertes Lichtbündel aufzufangen, das dann durch die mittlere Linse überverbessert wird. Manchmal wird man daher auch bei Linsensystemen, welche aus den besten Werkstätten kommen, finden, dass die Flintglaslinse der untersten zumeist vergrössernden Doppellinse planconcav ist, während bei der zweiten, und falls es ein Triplet ist, bei der zweiten und dritten, oder auch bei der dritten allein, auch die aussen gekehrte Oberfläche der Flintglaslinse etwas concav ist, so dass die Doppellinse einen convergirenden Meniskus darstellt, woran der Einfluss der biconcaven Flintglaslinse etwas überwiegt.

Digitized by Google

156 Das Auffinden des gehörigen Abstandes der Doppellinsen ist, wie bereits bei Gelegenheit ihrer Anfertigung bemerkt wurde, mehr ein Werk der Geduld und des wiederholten, durch praktische Erfahrung unterstützten Versuchens, als einer vorgängigen Berechnung, die zwar allerdings einige beachtenswerthe Winke geben kann, niemals aber mit solcher Sicherheit und Genauigkeit auf die Anfertigung mikroskopischer Objective einzuwirken im Stande ist, wie bei teleskopischen Objectiven. Die Ursache davon liegt nicht in einem Mangel verlässlicher theoretischer Gründe, auf welche die Berechnungen sich zu stützen haben, sondern darin, dass bei dem grossen Einflusse, den die geringste Verschiedenheit in der Form und im gegenseitigen Abstande der Linsen auf deren Gesammtwirkung äussert, kein Arbeiter ein Linsensystem anzufertigen vermag, welches den im Voraus berechneten Bedingungen vollkommen entspricht. Lister (a. a. O. p. 197) erzählt, dass er eine Kronglaslinse und eine Flintglaslinse hatte, bei denen die gewölbte Oberfläche der einen so genau in die Aushöhlung der anderen sich legte, dass an der Stelle der Vereinigung die bekannten Farben dünner Schichten sich zeigten, und als dann eine Schicht Canadabalsam zwischen beide Linsen gebracht wurde, die so dünn war, dass diese Farben dadurch nicht weggenommen wurden, so verursachte dies doch schon eine recht auffallende Veränderung im Grade der sphärischen Aberration. Wo nun solche ganz unbedeutende Differenzen schon von Einfluss sind, da werden natürlich auch die besten Berechnungen in der Ausführung nicht ausreichen.

Aus dem Angeführten lässt sich zugleich die Folgerung ziehen, dass Mikroskope, welche aus einer und derselben Werkstatt kommen, doch nicht vollkommen gleich unter einander sein können, wenn auch ihre äussere Form und die mechanische Einrichtuug vollkommen die nämlichen sind. Die Röhren, der Objecttisch, die Räder- und Schraubenbewegungen, der Spiegel u. s. w. können alle nach feststehenden Modellen verfertigt werden und es ist dazu nicht mehr Zeit und Geduld erforderlich, als zu jeder anderen feinen Handarbeit; — bei Anfertigung von Doppellinsen und deren genauer Vereinigung zu Systemen lassen sich jedoch früher verfertigte Doppellinsen und Systeme kaum als Modelle benutzen. Man muss immer wieder von vorn mit Probiren anfangen, bis man die erzielte Wirkung erreicht, oder richtiger, bis der Arbeiter glaubt, die erlangte Verbesserung sei eine ausreichende im Verhältniss zu dem Preise, den er für seine Mühe und ausdauernde Geduld empfängt. Denn es braucht kaum gesagt zu werden, dass eine ganz vollkommene Verbesserung nicht erreicht werden kann und dass als das beste Linsensystem nur jenes zu erachten ist, wo man mit Verbesserung der beiden Aberrationen der vollständigen Beseitigung derselben am nächsten gekommen ist *).

*) Als vor vielen Jahren Oberhäuser im Gespräch auch auf diesen Gegen-

Ich glaubte hier mit einigen Worten andeuten zu müssen, wie mühsam noch gegenwärtig das Verfertigen von Objectivsystemen ist und allem Anschein nach wohl stets sein wird, weil es mir vorgekommen ist, als seien unrichtige Vorstellungen darüber sehr verbreitet, indem man sich z. B. wundert, dass die kleineren und weniger theuer bezahlten Mikroskope des nämlichen Optikus nicht immer mit gleich guten Linsensystemen versehen sind, wie die grösseren aus der nämlichen Werkstätte. Bedenkt man aber wie viel Zeit jedes einzelne System verlangt, wenn es auf einen verhältnissmässigen Grad von Vollkommenheit gebracht werden soll, dann muss man sich weit eher darüber wundern, dass um den geringen Preis, wofür solche kleine Mikroskope gegenwärtig zu haben sind, noch so gute Instrumente geliefert werden, und dass sie sich nicht noch weit auffallender unterscheiden von den grösseren und theureren, für welche der Optikus, wie sich von selbst versteht, seine bestgelungenen Linsensysteme aufspart. Auch mag das Angeführte zur Erklärung dienen, warum in der Regel zwischen der Bestellung und dem Empfange eines Mikroskopes eine längere Zeit verstreicht, und zugleich einigermaassen zur Warnung, dass man den Optikus nicht zu sehr drängt. Denn für keine Arbeit passt wohl das *festina lente* mehr, als für die Anfertigung von Objectivsystemen.

Es giebt zwei Hauptmethoden, nach deren die Linsen zu Systemen verbunden werden. Die erste und ältere Methode ist die, dass die einzelnen Doppellinsen nach ihrer Stärke gewöhnlich mit 1, 2, 3, 4 u. s. w. numerirt und auf einander geschraubt werden, so dass 1 + 2, 1 + 2 + 3, 2 + 3 + 4 u. s w. die passenden Combinationen sind, um ein System zu bilden. Besser jedoch ist die jetzt mehr und mehr in Gebrauch kommende Methode, nach welcher jene Doppellinsen, die ein System ausmachen, in andauernde Verbindung mit einander gebracht werden. Allerdings vermehrt sich hierdurch die Anzahl der einzelnen Linsen für eine bestimmte Zahl von Combinationen und es steigt mithin der Preis des Apparates. Dies wird aber wiederum reichlich aufgewogen, durch die grössere Vollkommenheit, die einem jeden für sich bestehenden Systeme zu Theil werden kann, sowie durch die grössere Leichtigkeit im Wechseln der Objective. Nur bei schwachen Objectiven kann ohne die unterste Linse abgeschraubt werden, um ohne Ansatz eines besondern Systems eine geringere Vergrösserung zu bekommen, die in manchen Fällen wünschenswerth ist. 157

Was die Ordnung betrifft, in welcher die Linsen auf einander folgen,

stand kam, theilte er mir mit, dass er Ein Linsensystem besässe, das er schon vor vielen Jahren angefangen und aus seinem stets zunehmenden Linsenvorrathe fortwährend zu verbessern sich habe angelegen sein lassen, und woran er noch immer verbessere. Er nannte dieses System damals mit Recht ein unbezahlbares.

so nimmt man allgemein und mit Recht als Regel an, dass die stärksten, also die kleinsten Linsen dem Objecte zugekehrt sein müssen. Es verdient diese Stellung aus einem doppelten Grunde den Vorzug. Zunächst ist der Brennpunkt oder die Stelle des Objectes alsdann weiter von der untersten Linse entfernt (§. 124), und zweitens ist diese Stellung auch für die Helligkeit des Bildes die vortheilhafteste, wie aus folgender Betrachtung leicht entnommen werden kann. Bei einer entgegengesetzten Stellung der Linsen nämlich würde ein grosser Theil der Strahlen, welche durch die erste grössere Linse hindurchgehen, durch die darüber befindliche kleinere Linse nicht durchgelassen werden können; ist dagegen die kleinste Linse nach unten befindlich, dann können die Oeffnungen der auf einander folgenden Linsen sich dergestalt zu einander verhalten, dass alle Strahlen, welche die vordere Fläche der dem Objecte zugekehrten Linse treffen, an der hintersten Fläche wieder heraustreten, wie man aus Fig. 70 sogleich ersieht. In der That erlangen die aplanatischen Linsensysteme dadurch, dass sie eine grosse Oeffnung zulassen, den wesentlichsten Vorzug vor jenen Objectiven, die aus einer einzigen Linse bestehen; denn diesem Umstande vornehmlich verdanken unsere neueren Mikroskope, wie später gezeigt werden soll, ihr Unterscheidungsvermögen, d. h. die Eigenschaft, feinere Details in der Bildung der Objecte zur Anschauung zu bringen.

Fig. 70.



Aus diesem Grunde ist es auch nicht gleichgültig, wie die unterste Linse gefasst ist. Will man ihre ganze Oeffnung benutzen, dann muss man dafür sorgen, dass der Unterrand des Röhrchens, auf dem sie liegt, möglichst schmal ist. Um nun einen möglichst grossen Oeffnungswinkel zu bekommen, haben manche Mikroskopverfertiger (Ross z. B. bei seinen stärksten Systemen) diesen Rand sogar ganz fallen lassen, und sie befestigen die Linse nur mittelst etwas Canadabalsam an das sie genau umfassende Röhrchen.

158 Wenden wir uns jetzt zur näheren Betrachtung der übrigen optischen Einrichtung, welche mit der Verwendung aplanatischer Linsensysteme zu Objectiven im Zusammenhange steht.

Ich habe schon weiter oben (§. 151) darauf hingewiesen, dass das Collectivglas und das Ocular nicht ganz ohne Einfluss auf die beiden Aberrationen sind. Schon daraus ist zu entnehmen, dass ihre vereinigte Wirkung ebensowohl einen nachtheiligen als einen vortheilhaften Einfluss auf die Schärfe des Scheinbildes auszuüben vermag, und dass mithin ein genaues relatives Verhältniss zwischen ihnen und dem Objective in Frage

kommen muss, wenn es sich um die Erreichung des höchsten Grades von Vollkommenheit handelt, deren das zusammengesetzte Mikroskop fähig ist. Hier sind nun eine Anzahl Fälle möglich, die wir der Reihe nach betrachten wollen.

Bei unseren neueren Mikroskopen ist in der Regel, um die Vertauschung leichter zu machen, jedes Ocular mit dem zugehörigen Collectivglase in eine gemeinschaftliche Fassung eingesetzt, und dieses Ganze nennt man, freilich nicht ganz richtig, das Ocular.

Bei oberflächlicher Betrachtung scheint es am passendsten zu sein, um beide Aberrationen vollständig zu beseitigen, wenn die Objectivsysteme sowohl als die beiden das Ocular zusammensetzenden Linsen möglichst aplanatisch gemacht werden, wenn man also auch für das Ocular achromatische Doppellinsen benutzt. Manche Optiker haben auch solche aplanatische Oculare zu ihren Mikroskopen verwendet, aber immer nur für mässige Vergrösserungen und bei einem sehr kleinen Gesichtsfelde. Aus dem Nachfolgenden wird sich aber ergeben, dass solche Oculare, wenn sie abwechselnd mit anderen gebraucht werden sollen, niemals ganz aplanatisch sein dürfen, da gerade in den Aberrationen des Oculars ein Mittel geboten ist, die Aberrationen des Objectives zu beseitigen, wenn diese im entgegengesetzten Sinne statt haben.

Um dies deutlich zu machen, muss ich daran erinnern, dass bei der sphärischen Aberration der Brennpunkt der Randstrahlen der Linse näher liegt, als jener der Axenstrahlen (§. 48), und dass bei der chromatischen Aberration der Brennpunkt der stärker brechenden violetten Strahlen sich näher der Linse befindet, als die Brennpunkte der übrigen farbigen Strahlen (§. 52). Soll nun durch das Ocular ein Scheinbild wahrgenommen werden, welches so viel als möglich aus einer Vereinigung aller farbigen Strahlen besteht, dann muss die Ordnung der einzelnen auf einander folgenden Bilder (§. 55 und 151) umgekehrt werden, d. h. jene Bilder, welche bei einem nicht verbesserten Objectivglase dem Oculare zunächst zu liegen kommen würden, müssen nun am weitesten von dem Oculare entfernt bleiben. Mit anderen Worten: das Objectivsystem, wenn es in einem zusammengesetzten Mikroskope zur Anwendung kommt, darf nicht vollkommen aplanatisch, es muss vielmehr etwas überverbessert sein.

Zur Aufhellung des Gesagten dient Fig. IX. der Farbendrucktafel. Es ist hier die optische Einrichtung des von Huygens zuerst für Fernröhre empfohlenen Oculares *) dargestellt, wie es jetzt allgemein bei den neueren Mikroskopen in Anwendung kommt. *AB* ist das Ocular, *CD* das Collectiv; beide sind planconvex und ihre gewölbten Flächen sehen

*) In roherer Form, wo es aus zwei biconvexen Linsen besteht, heisst es Campani's Ocular. Auch nennt man es das negative Ocular, im Gegensatze zum Ocular von Ramsden oder zum positiven Ocular, von dem später die Rede sein wird.


Digitized by Google

nach unten, was keineswegs gleichgültig ist. Für das Collectiv ergiebt sich die Nützlichkeit dieser Stellung aus der im §. 151 gegebenen Erklärung der Weise, wie dieses Glas der Krümmung des Bildes entgegenwirkt. Für das Ocular könnte es bei oberflächlicher Betrachtung zwar geeigneter erscheinen, wenn seine ebene Fläche dem Luftbilde zugekehrt wäre, weil dann die sphärische Aberration merklich geringer ist (§. 51). Dass dies aber hier keinen Vortheil bietet, davon kann sich jeder, der ein Mikroskop mit einem solchen Ocular besitzt, überzeugen, wenn er die oberste Linse umkehrt. Ist das Mikroskop gut, dann wird ihm das Resultat entgegentreten, dass das Feld kleiner, weniger geebnet und das Bild weniger scharf wird, weil bei einem richtigen Verhältniss zwischen den entgegengesetzten Aberrationen des überverbesserten Linsensystems und des nicht verbesserten Oculars die Bilder gerade in jene Entfernung vom Ocular zu liegen kommen, die nöthig ist, damit dieselben vereinigt auf die Netzhaut auffallen. Für die chromatische Aberration ist dies in der Figur angedeutet. Wäre nicht das Collectivglas *CD* angebracht, so würden durch ein überverbessertes Objectivsystem eine Anzahl farbiger Bilder entstehen, von denen *a* als das entfernteste und grösste violet, *b* als das nächste und kleinste roth sein würde. Das Collectivglas erzeugt keine Veränderung in der Ordnung der Bilder, nur liegen sie etwas näher bei einander in *c* und *d*. Ist nun die Distanz zwischen diesen farbigen Bildern und dem Ocular der Art, dass das violette Bild *c* etwas nach innen von *v*, der Brennweite für violette Strahlen, liegt, und das rothe Bild *d* etwas nach innen von *r*, der Brennweite für rothe Strahlen, dann werden die von den Bildern divergirend ausgehenden farbigen Strahlen, nachdem sie durch die Linse gebrochen worden sind, als parallele ins Auge treten, d. h. also (abgesehen von den jederzeit übrig bleibenden Farben des secundären Spectrums (§. 61) als weisses Licht.

Auf ähnliche Weise lässt sich auch nachweisen, dass die sphärische Aberration des Oculares gerade dazu dienen kann, die auf einander folgenden Bilder zu vereinigen, welche durch ein für sphärische Aberration überverbessertes Linsensystem erzeugt werden. Dazu wird nur erfordert, dass der Abstand der am meisten von einander entfernten Bilder der Länge der sphärischen Aberration des Oculares gleich sei, so dass das oberste und grösste Bild etwas innerhalb des Brennpunktes für den Randtheil des Oculares, das unterste oder kleinste Bild etwas innerhalb des Brennpunktes für den Mitteltheil desselben zu liegen kommt. Nach dem Durchgange der Strahlen durch das Ocular werden sich dann die früher gesonderten Bilder zusammen zu einem Bilde auf der Netzhaut vereinigen.

159 Aus dem eben Angeführten ergiebt sich soviel, dass man, wenn die durch das Ocular zu erreichende Verbesserung eine möglichst vollkommene sein soll, sein Ziel dahin richten muss, dass der wechselseitige Ab-

stand der Extreme beider Bildarten genau entsprechend sei der Länge der beiden Aberrationen. Sind die Bilder zu weit von einander entfernt, dann behält das Objectivsystem einen überwiegenden Einfluss und die Lichtbündel sind noch überverbessert, wenn sie das Ocular verlassen; ist dagegen die Aberrationslänge des Oculars grösser als der Abstand der Bilder, dann werden diese unterverbessert. Dabei darf man allerdings nicht vergessen, dass die Längen der beiden Aberrationen nicht ganz gleich sind, so dass, wenn für eine das Maximum der Verbesserung erreicht ist, die andere noch unterverbessert oder schon überverbessert sein kann. Doch lässt sich immer ein gewisses mittleres Verhältniss ausfindig machen, welches dem Zwecke am besten entspricht.

Es würde nun eine höchst mühevolle Aufgabe sein, wenn das Ocular- und das Objectivsystem immer so genau zu einander passen müssten, dass ihre wechselseitigen entgegengesetzten Aberrationen einander genau aufheben. Auch würde dann jedes Objectivsystem nur mit einem einzigen Oculare zu den besten Resultaten führen. Glücklicherweise giebt es aber mehr denn ein Mittel, um hierin Abhülfe zu gewähren.

Zuvörderst kommt hier der Einfluss des Collectivglases auf den wechselseitigen Abstand der Bilder in Betracht. Nähert man jenes dem Ocular, dann werden die Luftbilder grösser, und zugleich nimmt der sie trennende Zwischenraum oder vielmehr die Dicke des Raumes, in dem sie sich bilden, an Grösse zu. Das Gegentheil tritt in dem Falle ein, wenn die Collectivlinse vom Oculare entfernt wird. Der Verfertiger eines Mikroskopes hat es also in seiner Gewalt, durch wiederholte Versuche die gehörige Entfernung zwischen beiden Gläsern des Oculares ausfindig zu machen, bei welcher die vortheilhafteste Wirkung erzielt wird. Daraus ergiebt sich aber schon, dass ein Ocular, welches mit einem bestimmten Linsensysteme ein ausnehmend scharfes Bild giebt, eine weniger gute Combination mit einem anderen bilden wird, das sonst ganz gut gearbeitet sein kann, bei dem aber die Ueberverbesserung etwas mehr oder weniger beträgt, es müsste denn (was aber in der Regel nicht der Fall ist) das Ocular aus zwei in einander verschiebbaren Röhren bestehen, die eine für das eigentliche Ocular, die andere für das Collectivglas, wobei der Beobachter die wechselseitige Distanz selbst in der Weise abzuändern vermag, wie es für das benutzte System am passendsten ist.

Ein zweites Mittel bietet sich in der Veränderung des Abstandes zwischen Ocular und Objectiv. Es wurde oben (§. 146) nachgewiesen, dass durch Vermehrung dieser Entfernung die vergrössernde Kraft zunimmt, durch deren Verminderung dagegen abnimmt. Da nun mit der stärkeren und schwächeren Vergrösserung auch immer die wechselseitige Distanz zwischen den extremen Luftbildern zu- und abnimmt, so kann natürlich auch hierdurch den im vorigen Paragraphen gestellten Forderungen Genüge geschehen. Wird das nämliche Linsensystem und das

Digitized by Google

nämliche Ocular benutzt, so vermag die Aberrationsverbesserung auch nur für eine bestimmte Distanz zwischen jenen beiden das Maximum zu erreichen. Wird dann diese Distanz verlängert, so rücken die extremen Luftbilder weiter aus einander. Man kann nun zwar die frühere Distanz wieder herbeiführen, wenn man das Collectivglas vom Oculare entfernt; dadurch geht aber an der Vergrösserung wiederum verloren, was durch die frühere Verlängerung erreicht worden war. Es steht somit die Länge des Rohres bei einem zusammengesetzten Mikroskope in genauem Zusammenhange mit dem Grade der Ueberverbesserung des Objectivsystemes. Je geringer diese Ueberverbesserung innerhalb gewisser nicht zu überschreitender Grenzen ist, um so weniger wird das Scheinbild an Klarheit und Schärfe verlieren, wenn man das Rohr länger macht, und wenn man im Allgemeinen die Vergrösserung auf andere Weise, als durch einen Wechsel der Objective verstärkt.

Ein drittes Mittel besteht darin, dass man in die Bahn der vom Objective nach dem Oculare gehenden Strahlen eine Zerstreuungslinse einschiebt. Dass eine solche die Vergrösserung vermehrt, erhellt aus dem, was oben (§. 143) über ihre Anwendung bei Bildmikroskopen angeführt worden ist. Auch hat man es in der Gewalt, indem man sie näher dem Objective oder entfernter davon anbringt, diese Vergrösserung willkürlich zu vermindern oder zu vermehren. Hätte nun eine solche Linse keinen anderen Einfluss auf die Lichtstrahlen, als dass sie deren Convergenz zu mindern strebt, so würde ihre Benutzung ganz die nämliche Folge haben, als wenn man die Distanz zwischen Ocular und Objectiv vergrössert, und der Abstand der extremen Luftbilder würde sich in ganz gleicher Weise darstellen. Bei einer Zerstreuungslinse besteht aber eben so gut, wie bei einer Sammellinse, die chromatische und sphärische Aberration; nur wirken sie hier im entgegengesetzten Sinne wie bei einer Sammellinse (§. 60). Eine concave Linse aus blossem Kronglase wird also, wenn sie zugleich mit einem überverbesserten Objectivsysteme gebraucht wird, zur Folge haben, dass die Bilder weiter auseinander weichen, als wenn blos die stärkere Vergrösserung wirksam wäre. Die Anwendung einer solchen Linse wird deshalb in fast allen Fällen nur nachtheilig wirken. Auch von einer aus Kron- und Flintglas bestehenden Zerstreuungslinse, die möglichst genau achromatisch gemacht ist, darf man nur wenig Gewinn erwarten, weil der stärkeren Vergrösserung ein Verlust an Lichtstärke in Folge der Reflexionen an den Oberflächen der Linse sowie beim Durchgange der Strahlen gegenübersteht. Dagegen kann eine etwas überverbesserte achromatische Hohllinse wirklichen Nutzen bringen, weil die Luftbilder dadurch näher aneinander rücken und sie daher auch anwendbar ist, um, wenn die Aberrationslänge eines Oculares im Verhältniss zum Grade der Ueberverbesserung des Objectivsystems zu gering ist, das richtige Verhältniss zwischen beiden herzustellen.

Digitized by Google

Erst vor mehreren Jahren ist die Aufmerksamkeit bestimmter auf 160
einen Punkt gelenkt worden, der die Frage, wie man bei einem Mikroskope den möglichsten Grad optischer Vollkommenheit erreichen köune, noch etwas complicirter gemacht hat. Man hat nämlich gefunden, dass die Dicke der Glasplättchen, deren man sich bei fast allen mikroskopischen Untersuchungen zur Bedeckung der Objecte bedient, einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Schärfe der durchs Mikroskop wahrgenommenen Bilder übt. Manche Mikroskopenverfertiger (Powell, Amici) kannten zwar schon aus Erfahrung den Einfluss der Deckplättchen und waren auf Mittel bedacht, denselben zu beseitigen, aber erst Mohl (*Mikrographie*, S. 157) hat sich umständlich darüber verbreitet. Finden nun gleich diese Deckplättchen auch bei allen anderen Arten von Mikroskopen Anwendung, so scheint mir doch hier der geeignetste Ort zu sein, um auf diesen Einfluss aufmerksam zu machen, zumal derselbe mit den verschiedenartigen bereits erwähnten Methoden zur Verbesserung der Aberrationen in unmittelbarem Zusammenhange steht, in welchen Methoden zugleich die Mittel gefunden werdeu, um diese Bedeckung mit Glasplättchen grösstentheils unschädlich zu machen.

Weiter oben (§. 29) wurde schon dargethan, dass wenn Strahlen, welche von einem naheliegenden Punkte kommen, divergirend durch eine Glasplatte mit parallelen Flächen gehen, dieselben nach dem Durchtritte von einer unendlich grossen Anzahl über einander liegender Punkte zu kommen scheinen. Ist aber statt eines einzelnen leuchtenden Punktes ein Object vorhanden, so wird die Folge sein, dass eine unendlich grosse Anzahl von Bildern einander zu decken scheinen, die alle höher gerückt liegen als das Object selbst. Das am weitesten entfernte oder am höchsten gelegene Bild wird dann durch die am meisten schief einfallenden Strahlen gebildet. Mit der Anwendung eines Glasplättchens nun verbindet sich eine ähnliche Wirkung, wie die sphärische Aberration, und offenbar muss die hier berührte Abweichung und die davon bedingte Dicke der Bildanhäufung um so grösser sein, je dicker das Glasplättchen ist, welches zum Bedecken benutzt wird. Hat man daher ein Object erst ohne Bedeckung durchs Mikroskop angesehen und man legt dann ein Deckplättchen darauf, so muss das Mikroskop höher gestellt werden, und zwar um so höher, je dicker das Deckplättchen ist.

Man kann sich den Einfluss dieser Abweichung auf die Luftbilder zwischen dem Collective und dem Oculare am besten vorstellen, wenn man daran festhält, dass jegliches von den besonderen Bildern, welche durch die Benutzung eines Deckplättchens hervorgerufen werden, nach dem Durchgange der Strahlen durch das Objectivsystem wiederum in eine Reihe über einander liegender Bilder zerfällt. Alle diese Reihen von Bildern greifen zwar in einander, aber so, dass jede folgende Reihe etwas tiefer liegt, daher dann schliesslich der Abstand zwischen dem zumeist

Digitized by Google

nach oben und dem zumeist nach unten gelegenen Bilde grösser ist, als derselbe ohne die Bedeckung mit einem Glasplättchen sein würde. In der relativen Stellung der Luftbilder, mögen diese nun durch ein überverbessertes oder durch ein unterverbessertes Objectivsystem zu Stande kommen, bewirkt ein solches Deckplättchen keine Veränderung oder Umkehrung, sondern nur im Abstande derselben unter einander.

Leicht kann man sich vom Vorhandensein dieser Abweichung überzeugen. Freilich ist sie viel zu klein, als dass sie mit blossem Auge könnte wahrgenommen werden, und selbst bei mässigen 20- bis 60maligen Vergrösserungen ist ihr Einfluss noch nicht bemerkbar. Da aber die Dicke des bilderfüllten Raumes mit der Vergrösserung dieser Bilder zunimmt, so muss dieser Einfluss um so erheblicher ausfallen, je mehr die vergrössernde Kraft der benutzten Objective und Oculare zunimmt. Man betrachte z. B. bei einer 300- bis 400maligen Vergrösserung das nämliche Probeobject zuerst ganz unbedeckt, dann aber, wenn ein Glasplättchen von 1 bis 2^{mm} Dicke darauf liegt. Wenn das ganz unbedeckte Object mit vollkommener Schärfe sich darstellt, so wird der Einfluss des Glasplättchens durch ein Trübsein und etwas Nebelartiges sich kund geben, welches davon herrührt, dass die nur mit Mühe wahrnehmbaren Einzelnheiten am Objecte, z. B. die Querstreifchen auf den Schüppchen vieler Schmetterlinge, oder die Zeichnungen auf den Schalen mancher als Probeobjecte benutzten Diatomeen, sich jetzt gar nicht mehr unterscheiden lassen, oder doch wenigstens nicht mehr gleich deutlich wie früher.

Eben so gut kann aber auch das Gegentheil eintreten, dass nämlich die Schärfe des Bildes durch die Bedeckung mit einem Glasplättchen nicht abnimmt, sondern eher zunimmt. Es bedarf dazu weiter nichts, als dass der Grad der Ueberverbesserung des Objectivsystems im Verhältniss zur Aberrationslänge des Oculares zu niedrig ist. Durch ein Deckplättchen von passender Dicke werden dann die Bilder weiter von einander abstehen und das richtige Verhältniss zwischen Ocular und Objectiv wird dadurch hergestellt.

Man ersieht hieraus, dass diese Glasplättchen, sobald sie zur Anwendung kommen, als ein nicht gleichgültiger Bestandtheil des optischen Apparates zu betrachten sind und dass ein gutes Mikroskop eine Einrichtung haben muss, wodurch der Untersuchende in Stand gesetzt wird, den übrigen Theil dieses optischen Apparates so zu ändern als nöthig ist, damit derselbe mit den Deckplättchen von verschiedener Dicke, deren er sich bei seinen Untersuchungen bedient, in gehörige Uebereinstimmung kommt.

Dazu können nun alle jene Mittel benutzt werden, die wir bereits als solche kennen gelernt haben, wodurch im relativen Stande der Luftbilder vor dem Augenglase eine Veränderung zu Wege gebracht wird. Ist also ein Mikroskop so eingerichtet, dass durch dasselbe unbedeckte

Digitized by Google

Objecte am schärfsten wahrgenommen werden, dann wird, sobald ein Deckplättchen zur Anwendung kommt, entweder die Verkürzung des Rohres, oder die Verlängerung des Abstandes zwischen Ocular und Collectiv, oder eine überverbesserte achromatische Zerstreuungslinse in der Bahn der Strahlen dem vorgesteckten Zwecke entsprechen.

Dass die anzubringenden Modificationen je nach der grösseren oder geringeren Dicke der Deckplättchen verschieden sein müssen, wird aus folgendem von Mohl (*Mikrographie*, S. 162) entnommenen Beispiele ersichtlich werden. Ein Objectivsystem, welches mit dem schwächsten Oculare seines Amici'schen Mikroskopes 188 Mal vergrössert, fordert bei 5 Zoll 4 Linien Länge des Rohres ein Deckplättchen, dessen Dicke ohne auffallende Störung zwischen 1,2 und $1{,}6^{mm}$ variiren kann; hat aber das Rohr 3 Zoll 11 Linien Länge, dann müssen die Deckplättchen 1,3 bis $1{,}8^{mm}$ dick sein, und bei einem 2 Zoll 6 Linien langen Rohre sind Deckplättchen von 1,8 bis $2{,}3^{mm}$ Dicke nöthig. Hieraus folgt zugleich, dass die Dicke der Deckplättchen innerhalb gewisser Grenzen wechseln kann, ohne dass der störende Einfluss noch sehr bemerkbar wird.

Ausser den bereits angeführten Mitteln steht noch ein anderes zu Gebote, wodurch dem Einflusse der Deckplättchen begegnet wird: man richtet nämlich das Objectivsystem so ein, dass seine Wirkung in Verbindung mit jener des Deckplättchens nöthig ist, um die geforderte Distanz der Luftbilder zu Stande zu bringen, so dass also das Deckplättchen gleichsam einen Theil des Objectivsystems ausmacht. Dass dies geschehen kann, ist klar, da nach §. 155 die Ueberverbesserung eines Linsensystems zunehmen wird, wenn die Linsen, woraus dasselbe zusammengesetzt ist, einander genähert werden, während diese Ueberverbesserung abnehmen und zuletzt selbst in eine Unterverbesserung übergehen wird, wenn man dieselben weiter aus einander rückt. Da nun ein Objectivsystem mit geringer Ueberverbesserung durch Anwendung eines Deckplättchens einem Systeme mit stärkerer Ueberverbesserung gleich gemacht werden kann, so folgt hieraus, dass die nämlichen Linsen durch blosse Veränderung ihrer wechselseitigen Distanz zu Systemen verbunden werden können, die entweder ohne Deckplättchen oder mit Deckplättchen von verschiedener Dicke gebraucht werden müssen, wenn sie bei Anwendung eines bestimmten Oculares und bei einer bestimmten Länge des Mikroskopes am vortheilhaftesten wirken sollen.

Ausser den bereits genannten giebt es aber noch zwei Wege, auf denen das vorgesteckte Ziel erreicht werden kann: man fügt dem Mikroskope ein Paar stärkere, etwa gleich mächtig vergrössernde Linsensysteme bei, zu deren jedem Deckplättchen von bestimmter Dicke gehören; oder die Röhrchen, worin die Linsen gefasst sind, bekommen eine Einrichtung, dass der Abstand der Linsen verkürzt oder verlängert werden kann, und dadurch die Aberrationscorrection eine Veränderung er-

Digitized by Google

leidet, welche der durchs Deckplättchen erzeugten Aberration entsprechend ist und deshalb dieselbe beseitigt.

Beide Methoden sind in die Praxis übergegangen, und jede hat ihre eigenthümlichen Vortheile und Nachtheile. Bequemer ist die erste dieser beiden Methoden für den minder Geübten. Sie bietet auch den unverkennbaren Vorzug, dass jedes Linsensystem einen feststehenden Brennpunkt und eine unveränderliche Vergrösserung besitzt, was doch bei einer Verwendung zu mikrometrischen Zwecken unumgänglich nöthig ist. Andererseits freilich erreicht man damit nur theilweise das vorgesteckte Ziel, und die vermehrte Anzahl besonderer Objectivsysteme macht die Sache natürlich auch sehr kostspielig. In dieser Beziehung verdient nun die zweite Methode den Vorzug, zumal man dabei freie Hand hat, Deckplättchen von jeder Dicke zu benutzen. Weiterhin werde ich die hierzu nöthige mechanische Einrichtung beschreiben, welche die Optiker bei Anfertigung stärkerer Objectivsysteme gegenwärtig, wenn es verlangt wird, immer in Anwendung bringen. Nur das sei erwähnt, dass dabei die vorderste oder die hinterste Linse durch eine feine Schraubenbewegung den beiden anderen Linsen genähert oder ferner gerückt werden kann. Beim grössten Abstande der Linsen bleibt das Object ganz unbedeckt, bei grösster Annäherung der Linsen dagegen kommen die dicksten Deckplättchen, die bei diesem Linsensysteme noch verwendbar sind, In Anwendung. Immer müssen diese Correctionsapparate ungemein sorgfältig gearbeitet werden, und dadurch erhöht sich ebenfalls der Preis solcher Objectivsysteme. Ihr richtiger Gebrauch erfordert auch viel Uebung. Nun lassen sich die mikroskopischen Untersuchungen in der grossen Mehrzahl mit Linsensystemen ausführen, die für Deckplättchen von einer bestimmten Dicke corrigirt sind, und dergleichen Deckplättchen kann man immer bekommen; deshalb kann man nicht anrathen, dass jemand, der nur über eine bestimmte Summe zum Ankauf eines Mikroskopes zu verfügen hat, einen Theil dieser Summe im Voraus für solche mit Correctionseinrichtung versehene Linsensysteme bestimmt. Für die meisten Fälle wird er dieselben missen können, wogegen ihm Linsen mit feststehender Vergrösserung für Messungen und Zählungen unentbehrlich sind.

Für den Gebrauch der Linsensysteme mit Correctionseinrichtung hat Wenham (*Quart. Journ.* VI, p. 138) allgemeine Regeln aufgestellt. Man stellt das Mikroskop so ein, dass der dunkele Rand eines Objectes, etwa eines Diatomeenpanzers, deutlich erscheint. Hierauf bringt man mittelst der Schraube für feine Einstellungen das Object abwechselnd in die genaue Brennweite und wieder heraus. Dabei breitet sich der dunkele Rand aus, verliert die Schärfe und bildet ein Diffusionsbild. Tritt diese Ausbreitung am stärksten hervor, wenn das Object ausserhalb des Brennpunktes ist, also zumeist vom Objective absteht, dann muss man die Linsen durch die Correctionseinrichtung weiter von einander entfernen.

Tritt hingegen die nebelartige Ausbreitung stärker hervor, wenn das Object nach innen vom Brennpunkte, dem Objective näher sich befindet, dann müssen die Linsen einander mehr genähert werden. Hat man die richtige Correction getroffen, so erfolgt eine gleich starke Ausbreitung des Randes, mag er innerhalb oder ausserhalb des Brennpunktes befindlich sein.

Ich habe hier noch einer anderen Methode zu gedenken, wodurch die Wirkung des Objectives modificirt und sein optisches Vermögen gesteigert werden kann. Das erfolgt nämlich, wenn zwischen die Unterfläche der untersten Linse des Objectives und die Oberfläche des Deckplättchens eine Wasserschicht gebracht wird. Das einfachste Verfahren dabei ist dieses, dass man auf die unterste Linse sowohl als auf das Deckplättchen einen Tropfen reines Wasser bringt und dann das Mikroskoprohr nach unten bewegt, bis sich die beiden Tropfen berühren. Die zu solchem Zwecke eingerichteten Objective nennt man Immersionssysteme. 161

Amici hat zuerst diese Einrichtung versucht und ihm sind dann andere Optiker nachgefolgt. Es verknüpfen sich damit folgende Vortheile. Wasser, welches hierbei die Stelle der Luft vertritt, steht im Brechungsvermögen dem Glase weit näher. Dadurch wird die Reflexion der Lichtstrahlen zuerst an der obern Fläche des Deckplättchens und dann an der Unterfläche der Linse sehr vermindert, ja im Vergleiche zu dem Vorgange in der Luft wird sie fast auf Null reducirt; es treten deshalb mehr Lichtstrahlen ins Mikroskop, und die Wasserschicht übt somit die nämliche Wirkung, wie ein vergrösserter Oeffnungswinkel. Dazu kommt noch, dass vornehmlich die Randstrahlen, als die am schiefsten einfallenden, diesen günstigen Einfluss erfahren. Diese Randstrahlen erlangen daher einen grösseren Antheil an der Bildung des vor dem Oculare entstehenden Bildes, und da sie es häuptsächlich sind, die beim Durchgange durch ein durchscheinendes Object zumeist von der ursprünglichen Bahn abgebogen werden und kleine Abweichungen im Bilde hervorbringen, so wird durch die Immersionseinrichtung das Unterscheidungsvermögen des Mikroskopes erhöht.

Diese Vortheile würden aber natürlich ganz in Wegfall kommen, wenn die optische Einrichtung des ganzen Apparates, das Brechungs- und Zerstreuungsvermögen der verwendeten Glassorten, die Form und die wechselseitigen Abstände der daraus geschliffenen Linsen, nicht damit in vollständigen Einklang gebracht würden. Die eingeschobene Wasserschicht, welche oben an die platte Fläche der untersten Linse und unten an die ebenfalls platte Fläche des Deckplättchens anstösst, lässt nun freilich die Form der brechenden Oberflächen unverändert; gleichwie aber die Anwesenheit oder das Fehlen eines Deckplättchens auf den Gang der Lichtstrahlen einen sehr auffälligen Einfluss übt, so muss auch das an die Stelle der Luft getretene Wasser mit dem stärkeren Brechungs-

vermögen und der stärkeren Lichtzerstreuung eine Abänderung der sphärischen und chromatischen Aberration herbeiführen. Eine Einrichtung, wo beide Aberrationen für Luft verbessert sind, wird aus diesem Grunde nicht für das Zwischenmedium des Wassers passen, und umgekehrt wird ein für die Zwischenschicht von Wasser eingerichteter Apparat, wodurch die Aberrationen möglichst gehoben und scharfe Bilder zu Stande gebracht werden, nothwendiger Weise undeutliche mit den Aberrationsfehlern behaftete Bilder hervorbringen, sobald jene kleine Wasserschicht weggelassen wird. Mit einem Worte, die kleine Wasserschicht bildet einen nothwendigen Bestandtheil des Immersionssystems, sie hat die Bedeutung eines neuen optischen Elementes, und dieselbe kann, bei gehöriger Uebereinstimmung mit den übrigen optischen Elementen, auch dazu beitragen, die noch bestehenden secundären Aberrationen zu beseitigen.

Die eingeschobene Wasserschicht trägt aber auch noch in einer anderen Beziehung zur Verstärkung des optischen Vermögens bei. Dieselbe wirkt nämlich in ähnlicher Weise wie ein Deckplättchen, und da mit zunehmender Dicke der Deckplättchen die im Objectivsysteme enthaltenen Linsen einander näher gerückt werden müssen, so steigert sich damit auch das Vergrösserungsvermögen der nämlichen Linsencombination und die Grösse des Oeffnungswinkels.

An die Benutzung der Zwischenschicht von Wasser knüpfen sich sogleich ferner noch zwei andere Vortheile, die nicht sogleich ins Auge springen, aber doch von grosser praktischer Bedeutung sind. Da nämlich die Linsen des Objectivs einander mehr genähert werden, so rückt dessen Brennpunkt weiter von der Unterfläche weg, und deshalb sind noch merklich dickere Deckplättchen anwendbar, oder aber, wenn sehr dünne Deckplättchen genommen werden, so sind noch in der Tiefe gelegene Objecte oder Theile von Objecten damit zur Ansicht zu bringen. Sodann wirkt die Zwischenschicht von Wasser als Deckplättchen oder richtiger als ein Theil eines Deckplättchens, und da die Dicke der Wasserschicht in gleichem Verhältnisse zunimmt, als die Dicke des Glasplättchens abnimmt, so ist die Gesammtdicke des Deckplättchens, d. h. Wasserschicht und Glasplättchen zusammen, weniger veränderlich, und aus diesem Grunde bedarf es auch weit geringerer Veränderungen des Correctionsapparates, um den nämlichen Gegenstand unter verschieden dicken Glasplättchen mit gleicher Schärfe zu sehen.

Endlich ist noch eines etwas versteckten Vortheiles beim Gebrauche eines Immersionssystemes zu gedenken. Will man die Dicke mikroskopischer Objecte, die in einer Flüssigkeit befindlich sind, mittelst der Mikrometerschraube zu feinen Einstellungen bestimmen, so stellt sich das später noch ausführlicher zu besprechende störende Hinderniss entgegen, dass in Folge der Lichtbrechung in der Flüssigkeit und weiterhin nach dem Uebertritte in die Luft durch das Deckplättchen hindurch die Bilder

Digitized by Google

in der verticalen Richtung eine Stellverrückung erfahren, wodurch es dann unmöglich fällt, durch einfache Veränderung der Einstellung ihre Dicke genau zu messen. Dieser störende Einfluss schwindet, sobald eine Wasserschicht zwischen das Deckplättchen und das Objectiv tritt, wenigstens bei Objecten, die in Wasser oder in einer wässerigen Flüssigkeit liegen, und deren Dicke entspricht gerade der Strecke, welche das Mikroskoprohr in verticaler Richtung durchlaufen muss, wenn abwechselnd ihre Oberfläche und ihre Unterfläche scharf wahrgenommen werden sollen.

Der Einfluss, den die Zwischenlagerung einer Wasserschicht oder die Immersion des Objectives ausübt, würde also auf Folgendes hinauslaufen:

a. Fast vollständige Verhinderung der Reflexion der Lichtstrahlen an der obern Fläche des Deckplättchens und an der Unterfläche der untersten Linse.

b. Verbesserung der Aberrationen.

c. Zunahme des Vergrösserungsvermögens der nämlichen Combination von Doppellinsen.

d. Vergrösserung des Oeffnungswinkels.

e. Vergrösserung des Abstandes zwischen Objectiv und Object.

f. Zulässigkeit ungleich dicker Deckplättchen.

g. Erleichterte Dickenmessung solcher Objecte, die in Flüssigkeiten befindlich sind.

Diesen mehrfachen Vortheilen gegenüber steht nur die kleine Mühe, die es kostet, den Wassertropfen zwischen das Objectiv und das Deckplättchen zu bringen. Die Objectivsysteme leiden nicht dadurch, wenn nur reines Wasser benutzt und Sorge getragen wird, die Linse nach jedesmaligem Gebrauche mit einem weichen Tuche abzuwischen.

Uebrigens bedarf es wohl kaum der Erwähnung, dass die Immersion nur bei stärkeren Linsensystemen mit sehr kurzer Brennweite anwendbar ist und auch nur bei diesen sich als vortheilhaft bewährt.

Könnte man die Wasserschicht durch eine das Licht noch stärker brechende Flüssigkeit, etwa durch Oel, ersetzen, so müssten offenbar noch mehr Vortheile hieraus erwachsen. Man hat das versucht und auch bestätigt gefunden. Es scheint mir aber ein grosses Wagniss, wenn man kostspielige Linsensysteme mit einer öligen Flüssigkeit in Berührung bringen wollte, die sich doch nur durch Alkohol und Aether wieder fortschaffen lassen würde. Denn das wäre bedenklich bei Doppellinsen, die durch Canadabalsam verbunden sind. Man hat freilich die Immersionssysteme auch so eingerichtet, dass die vorderste Linse keine Doppellinse ist, sondern nur einfach aus Kronglas besteht, und für diesen Fall würde das Eintauchen in Oel allerdings wohl weniger gefahrbringend sein. Dessenungeachtet muss ich bezweifeln, dass Oelimmersionssysteme jemals in allgemeineren Gebrauch kommen dürften.

162 Dass das Huygens'sche Ocular, bei dem das Luftbild zwischen das Collectiv und das Ocular fällt, im Allgemeinen das passendste für ein aplanatisches Mikroskop ist, das ergiebt sich klar aus der oben aufgestellten Theorie seiner Wirkungsweise (§. 158) in Verbindung mit überverbesserten Objectivsystemen. Die Optiker, welche Mikroskope verfertigen, geben ihm auch in der Regel den Vorzug, wie schon daraus zu entnehmen ist, dass fast alle Oculare bei neueren Mikroskopen diese Zusammensetzung haben. Doch giebt es noch andere Einrichtungen des Oculars, die unter besonderen Umständen mit Vortheil angewandt werden können und deshalb hier Erwähnung verdienen.

Dahin gehört zunächst das Ocular von Ramsden oder das positive Ocular. Manche, wie z. B. Littrow (Gehler's *Wörterbuch*. Art. Mikroskop, S. 2249) und ihm nachfolgend J. Vogel (*Anleitung zum Gebrauche des Mikroskopes*, S. 29) haben sogar behauptet, es verdiene dieses Ocular vor jenem von Huygens den Vorzug, und sie haben ihre Verwunderung darüber nicht bergen können, dass dasselbe nicht in allgemeinerem Gebrauche ist. Aus diesem Grunde erscheint es nöthig, die Vor- und Nachtheile beider Classen von Ocularen etwas näher zu betrachten, um die Fälle bestimmen zu können, wo jedes mit dem meisten Vortheile angewendet werden mag.

Das Ocular von Ramsden besteht eben so wie jenes von Huygens aus zwei planconvexen Linsen; diese sind aber mit den gewölbten Flächen einander zugekehrt, und sie liegen zugleich näher bei einander, so dass das Bild nicht zwischen ihnen entsteht, sondern in kleiner Entfernung vor dem untersten Glase, d. h. also zwischen diesem und dem Objective. Ein solches Ocular ist also eigentlich ein Doublet, dessen vergrössernde Kraft einem einzigen stärker gekrümmten Oculare gleichkommt.

Aendert man innerhalb gewisser Grenzen die Entfernung der beiden Linsen von einander, so ändert sich auch die Brennweite des Systems (§. 124), und damit zugleich die chromatische und sphärische Aberrationslänge. Man hat es daher mit diesem Oculare eben so wie mit der Huygens'schen Einrichtung in seiner Gewalt, durch Benutzung eines überverbesserten Objectivsystems die Dicke der Luftbildschicht mit der Aberrationslänge des Oculares in ein entsprechendes Verhältniss zu bringen. Darin also stehen beide Oculararten einander ziemlich gleich.

Die Einrichtung von Ramsden hat nun allerdings einige Vortheile. Während mit Huygens's Oculare das Bild zuerst durch das Collectivglas verkleinert (Fig. 65) und die nachfolgende Vergrösserung nur durch das Ocular herbeigeführt wird, findet hier gar keine vorgängige Verkleinerung des Bildes statt und die Vergrösserung ist die Folge der vereinigten Wirkung beider Linsen. Werden also Linsen von gleicher Oeffnung und Krümmung, folglich auch von der nämlichen chromatischen und sphärischen Aberration zu einem Huygens'schen und zu einem Ramsden'-

Digitized by Google

schen Oculare vereinigt, so wird man durch letzteres eine merklich stärkere Vergrösserung bekommen, ohne dass die Aberrationen in gleichem Verhältnisse zunehmen. Je mehr ferner zwei Linsen einander genähert werden, nm so eher werden auch die seitlich auffallenden Strahlen durch beide Linsen gehen, und somit ist das Gesichtsfeld beim Oculare von Ramsden grösser.

Diesen Vortheilen stehen indessen nicht unerhebliche Nachtheile gegenüber. Da das Bild sehr nahe der Oberfläche des unteren Glases liegt, so kommen die geringsten Fehler der Politur, die kleinsten Risse oder Fäserchen auf seiner Oberfläche auch im Gesichtsfelde zum Vorschein. Ist diese Oberfläche nicht aufs Sorgfältigste polirt und wird sie nicht immer gereinigt, so läuft man Gefahr, diese Unebenheiten für Theile des im Gesichtsfelde befindlichen Bildes zu halten.

Wir haben ferner gesehen (§. 151), dass es beim Ocnlare von Huygens durch ein passendes Verhältniss zwischen den Krümmungen des Collectives und des Oculares möglich wird, die Krümmung der Ebene, worin das Bild liegt, durch das Collectiv so umzukehren, dass jenes durch das Ocular wahrgenommene Scheinbild in einer geraden Fläche sich darstellt. Beim Oculare von Ramsden kann so etwas nicht geschehen, weil eigentlich kein Collectiv bei demselben vorhanden ist *).

In allen Fällen also, wo es weniger auf ein grosses Gesichtsfeld ankommt, als auf die grösstmögliche Schärfe des Bildes im ganzen Gesichtsfelde, verdient das Ocnlar von Huygens den Vorzug. Die am wenigsten vergrössernden Oculare sollen demnach in der Regel diese Einrichtung besitzen. Bei stärkeren Ocularen, wozu bei der Huygens'schen Einrichtung sehr convexe Oculare, die einen grossen Theil einer Kugel ausmachen, genommen werden müssen, würde das Ocular von Ramsden, da ihm bei gleicher Vergrösserung weniger Aberration zukommt, in Betrachtnng kommen können, wäre nicht gerade diese Aberration, zusammenwirkend mit der entgegengesetzten Aberration des Objectivsystems, für die Gesammtwirkung vortheilhaft. Hier muss die Wahl dnrch deu Grad der Ueberverbesserung der Objectivsysteme bestimmt werden.

Aber auch bei schwachen Vergrösserungen und bei Anwendung von

*) Man darf dies aber nicht so verstehen, als müsse jedes Huygens'sche Ocular nothwendig ein mehr geradflächiges Feld haben als ein Ramsden'sches. Ist bei dem ersteren das Uebergewicht des Oculares zu gross, dann wird die Krümmung viel stärker sein können, und bei einer vergleichenden Prüfung beider Ocalararten ist es mir wirklich vorgekommen, als ob selbst bei Mikroskopen aus den besten Werkstätten Oculare der ersten Art oftmals noch sehr auffallend mit dieser Unvollkommenheit behaftet waren. Indessen dieselbe kann doch beim Oculare von Huygens ganz aufgehoben werden, nicht aber bei jenem von Ramsden, obwohl bei letzterem die vom Oculare selbst abhängige Krümmung viel geringer ist, wie man dies bei Doublets im Allgemeinen findet, und weil auch hier die gewölbten Oberflächen beider Linsen einander zugekehrt sind, so dass das Gesichtsfeld bei geringen Vergrösserungen noch ziemlich geradflächig sein kann.

Objectivsystemen mit entferntem Brennpunkte, die mithin ein nur schwach gebogenes Luftbild erzeugen, kann ein Ramsden'sches Ocular mit Vortheil zu dem Zwecke benutzt werden, ein grosses Gesichtsfeld zu bekommen, in jenen Fällen also, wo es sich mehr um eine allgemeine Uebersicht des untersuchten Objectes handelt, als um eine genaue Beobachtung aller seiner Einzelnheiten. Dieses Ziel wird dann am besten erreicht, wenn beide Linsen, die einen ansehnlichen Durchmesser besitzen müssen, nahe an einander gerückt werden.

Besser noch als zwei planconvexe Linsen dient zu diesem Zwecke das aplanatische Doublet (Fig. 62 und §. 127) von J. Herschel, welches auch mit einem Collectivglase von geringer Krümmung verbunden werden kann, um das Gesichtsfeld mehr eben zu machen. Es wäre zu wünschen, jedes Mikroskop würde mit einem derartig eingerichteten Oculare ausgestattet. Carpenter (*Todd's Cyclop. of Anat. and Phys.* Part. XXII, p. 342) fand, dass bei seiner Anwendung der Durchmesser des Gesichtsfeldes für eine mittlere Sehweite von 10 englischen Zollen 14 Zoll oder etwa 36 Centimeter betragen kann, mehr denn doppelt so viel, als das Gesichtsfeld bei Benutzung Huygens'scher Oculare zu besitzen pflegt. Nach Carpenter (*The Microscope and its Revelations.* London 1862, p. 56) giebt jedoch ein solches Ocular mit den gewöhnlichen Objectivsystemen, die für die Verwendung mit Huygens'schen Ocularen verbessert sind, ein weniger scharfes Bild. Bei schwachen Objectiven freilich tritt diese Verschiedenheit nur wenig hervor, und vorzüglich in Combination mit solchen kann es gute Dienste leisten, besonders weil das grosse Gesichtsfeld eine Uebersicht der Objecte in einer gewissen Ausbreitung gestattet.

Endlich giebt es noch einen Fall, wo man dem Oculare von Ramsden vor jenem von Huygens den Vorzug geben muss, nämlich bei Ocularmikrometern von verschiedener Einrichtung. Wird ein Glasmikrometer oder werden die beweglichen Fäden eines Schraubenmikrometers zwischen dem Collectivglase und dem Oculare angebracht, so dass man durch das letztere hindurch die Mikrometertheilungen oder die Fäden deutlich wahrnimmt, dann wird ihr vergrössertes Scheinbild in einer gekrümmten Fläche liegen, wie alle anderen Gegenstände, die man durch eine einzelne Linse betrachtet (§. 108). Die nahe dem Rande des Gesichtsfeldes befindlichen Abtheilungen werden sich grösser darstellen, als jene in der Mitte. Alle Linien, die nicht gerade durch die Mitte des Gesichtsfeldes gehen, und so auch die Fäden des Schraubenmikrometers werden etwas nach aussen gekrümmt erscheinen. Das ist nun in viel geringerem Grade der Fall, sobald das Mikrometer vor einem Ramsden'schen Ocular sich befindet, und zwar aus den nämlichen Gründen, weshalb das Gesichtsfeld beim Gebrauche von Doublets immer mehr geradflächig ist, als wenn nur eine einzelne Linse benutzt wird, die gleich

stark vergrössert. Mit einem derartigen Oculare sieht man daher alle geraden Linien, die sich in seiner Brennweite befinden, auch fast vollkommen geradlinig, und entfernt man sich nicht zu weit von der Mitte, so befinden sie sich auch in verhältnissmässig gleicher Entfernung von einander, was natürlich zu Messungen unumgänglich nöthig ist.

Aus dem, was über das Verhalten des Objectives zum Ocular angegeben wurde, ist ersichtlich, dass aplanatische Linsen im Oculare nur dann von Nutzen sein können, wenn man jenes wechselseitige Verhalten nicht ausser Acht lässt. Aplanatische oder achromatische Oculare, die manchen Mikroskopen beigegeben sind, und wo entweder beide Linsen oder nur die obere eine Vereinigung einer Flintglas- und Kronglaslinse ist, verdienen deshalb keineswegs unbedingt den Vorzug vor Ocularen mit gewöhnlicher Zusammensetzung. Die höheren Kosten von dergleichen Ocularen tragen blos dann Früchte, wenn die Combination in vollkommnerer Weise, als es bei Anwendung gewöhnlicher Gläser möglich ist, die beiden Aberrationen im ganzen Mikroskope beseitigt.

Man wird sich auch noch die Frage stellen dürfen, ob nicht das Immersionsprincip auch beim Oculare zulässig sei, dass man nämlich den Raum zwischen beiden Gläsern mit Wasser anfüllt und dadurch die vierfache Reflexion im Oculare auf eine zweifache reducirt. Ich habe den Versuch gemacht, und gefunden, dass das Bild in der Mitte des Gesichtsfeldes dadurch wirklich recht scharf wird, und zwar schärfer als bei Benutzung eines gewöhnlichen gleich stark vergrössernden Oculares. Es verbindet sich aber damit ein doppelter Nachtheil. Selbstverständlich nämlich wird durch diese Zwischenschicht von Wasser die vergrössernde Kraft sehr reducirt. Zweitens aber bekommt das Bild dadurch eine sehr starke Krümmung, weil das Collectiv seinen oben besprochenen (§. 151) eigenthümlichen Einfluss verliert, insofern das ganze Ocular jetzt eigentlich in eine einfache Cylinderlinse umgewandelt worden ist.

Ich könnte hier noch jener Oculare Erwähnung thun, die dazu bestimmt sind, das verkehrte Bild wiederum in die ursprüngliche Stellung des Objectes zurückzuführen. Doch halte ich es für geeigneter, wenn ich über sie und die übrigen Mittel, die zu gleichem Zwecke angewendet werden, in einem besondern Kapitel handele.

Nachdem wir die Hauptbestandtheile jedes zusammengesetzten dioptrischen Mikroskopes betrachtet haben, sowie das Verhältniss, worin die Objective und Oculare zu einander stehen, können wir jetzt die Frage beantworten, wie ein zusammengesetztes Mikroskop beschaffen sein muss, damit es den billigen Anforderungen Jener entspricht, die es zu wissenschaftlichen Untersuchungen benutzen wollen. 163

Das Haupterforderniss für jedes Mikroskop ist die grösstmögliche optische Vollkommenheit. Ein geübter Beobachter kann mittelst eines

Mikroskopes, dessen mechanische Einrichtnng sehr nnvollkommen ist, noch vorzügliche Untersuchungen ausführen, sobald es nur gute Objective und Ocnlare hat. Ist dagegen der optische Apparat schlecht, dann vermag weder das Geübtsein des Beobachters, noch die Vortrefflichkeit des Mechanismus den geringsten Ersatz dafür zn hieten.

Indem ich die allgemeinen Grundsätze, nach denen man den Grad der optischen Vollkommenheit der verschiedenen Mikroskope prüft, für ein späteres besonderes Kapitel aufspare, soll hier nnr dasjenige aufgezählt werden, was im Besonderen zur Einrichtung eines zusammengesetzten Mikroskopes gehört.

Man kann aber hierbei von einem doppelten Gesichtspunkte ausgehen, indem man sich nämlich die Frage stellt, wie ein znsammengesetztes dioptrisches Mikroskop einznrichten ist, nm den jetzigen Forderungen der Kunst aufs beste zu genügen, oder indem man fragt, wie ein solches Mikroskop eingerichtet sein muss, um für wissenschaftliche Untersuchungen zu genügen? Die Antwort auf heide Fragen würde natürlich gleichlantend sein, müsste man nicht die höchste Vollkommenheit der Kunst zugleich auch mit dem höchsten Preise vergüten. Da ich mir nnn unter den Lesern viele denke, für welche der letztgenannte Punkt keineswegs gleichgültig ist, und da auch ansserdem die Brauchbarkeit eines Mikroskopes durchaus nicht in gleichem Verhältnisse mit seinem Preise sich steigert, so werde ich im Folgenden diesen Punkt nicht aus dem Auge verlieren.

Den ersten und wichtigsten Theil bilden die Objectivsysteme. Was ihre Zahl betrifft, so kann man zur Noth mit drei Systemen von verschiedener Vergrösserung auskommen. Einige mehr, also etwa 5 bis 6, sind aber wünschenswerth, da man, wo möglich, die stärkeren Vergrösserungen nicht durch den Wechsel der Oculare, sondern der Objective zu erreichen suchen muss. Ans den weiter oben (§. 157) angeführten Gründen ist es vorzuziehen, wenn diese Linsen fest untereinander zu Systemen verbunden sind.

In der Anfertigung stark vergrössernder Objectivsysteme haben es manche Optiker in den letzten Jahren sehr weit gehracht. Wer ein so vollkommen als möglich eingerichtetes Mikroskop verlangt, der kann jetzt sich Objectivsysteme anschaffen, die mit dem schwächsten für gewöhnlich gehrauchten Ocular, wodurch die Bilder etwa 5 Mal vergrössert werden, bei einem etwa 20 Centimeter langen Rohre eine 600- bis 700fache und selbst noch stärkere Vergrössernng gehen. Das schwächste Objectiv kann dann wohl mit dem nämlichen Ocnlare eine 30- bis 40fache Vergrösserung bewirken, und zwischen diesen heiden Extremen liegen die Vergrösserungen mit den übrigen Objectivsystemen, soviel möglich in einer geregelten Folge.

Wer sich ein Mikroskop bestellt und dahei die Objectivsysteme selbst wählt, der lasse sich dringend anempfohlen sein, dass er sich nicht hlos

auf die Anschaffung der stärkeren Systeme beschränkt, wozu viele geneigt sind, denen die Bekanntschaft mit mikroskopischen Untersuchungen noch abgeht. Wer sich des Mikroskopes häufig bedient, wird nämlich finden, dass die stärksten Vergrösserungen nur selten in Anwendung kommen, dass dagegen schwache und mittlere am häufigsten benutzt werden. Der Grund ist zum Theil darin zu suchen, dass die schwächer vergrössernden Objectivsysteme im Vergleich zu den stärkeren immer vollkommener sind; denn die letzteren bestehen aus sehr kleinen Linsen und lassen sich niemals so vollkommen aplanatisch herrichten. Bei ihrer Benutzung gewinnt man daher niemals so viel, als ihre stärker vergrössernde Kraft zu versprechen scheint. Ausserdem kommen die stärksten Objectivsysteme den Objecten sehr nahe, und die Beschaffenheit der letzteren ist deshalb oftmals ihrer Anwendung hinderlich. Bei einem Objectivsysteme, welches mit dem schwächsten Oculare 600 bis 700 Mal vergrössert, ist diese Annäherung so bedeutend, dass man kaum gläserne Deckplättchen findet, die hinlänglich dünn sind, um benutzt werden zu können; und doch hat man jetzt solche Plättchen, die nur $^1/_5$ bis $^1/_7$mm Dicke haben. Endlich ist mit schwächeren Vergrösserungen auch noch der grosse Vortheil verbunden, dass der Beobachter dadurch in den Stand gesetzt wird, einen grösseren Theil des Objectes auf einmal anzuschauen, und so den Zusammenhang und die Verbindung der Theile unter einander mit einem Blicke zu übersehen. Dies ist weit besser, als wenn sie nach einander ins Gesichtsfeld kommen, weil es dann oftmals der lebhaftesten Einbildung nicht möglich ist, die einzelnen zum Bewusstsein kommenden Gesichtseindrücke späterhin zu einem zusammenhängenden Ganzen zu verbinden.

Wenn daher Jemand, um die Kosten zu verringern, nur drei Sätze von Objectiven mit verschiedener Vergrösserung verlangt, so wird er besser thun, zunächst von dem eben genannten am stärksten vergrössernden Satze abzustehen, und dafür einen etwas schwächer vergrössernden zu wählen, der etwa mit dem schwächsten Oculare 300 bis 350 Mal vergrössert. Sind die beiden anderen Sätze so, dass der eine 30 bis 40, der andere 120 bis 150 Mal mit dem nämlichen Oculare vergrössert, so wird er bei Benutzung seines Mikroskopes nur selten ein weiter gehendes Objectivsystem vermissen. Allerdings kommen Fälle vor, wo die stärksten bis jetzt verfertigten Objectivsysteme nöthig sind, um mit Ueberzeugung wahrzunehmen, was man durch etwas schwächere zum Theil gar nicht oder weniger deutlich erkennt, weshalb auch jene stärkeren bei einem ganz vollkommen ausgestatteten Instrumente nicht fehlen dürfen; allein die Anzahl der Fälle, in denen ihre Anwendung wirklich nutzbringend erscheint, ist doch nur gering im Vergleich zu der grossen Menge anderer Fälle, wo sie ohne Beeinträchtigung der genauen Beobachtung gänzlich entbehrt werden können. Bei weitaus den meisten mikroskopischen Untersuchungen bildet eine 300fache Vergrösserung die

Grenze, die man nur selten zu überschreiten braucht, und bei dieser Vergrösserung wird ein geübter Beobachter schon sehr viel entdecken, was einem weniger geübten bei 1000facher Vergrösserung entgeht. Es versteht sich übrigens von selbst, das diese Behauptung nur für den gegenwärtigen Zustand der Mikroskope auf Gültigkeit Anspruch macht. Würde es der Kunst gelingen, die stärksten Objectivsysteme noch auf einen höheren Grad von Vollkommenheit zu bringen, dann wäre der Augenblick gekommen, wo Jeder, der mit den Forderungen der Wissenschaft gleichen Schritt halten will, sich in der Nothwendigkeit befände, dieselben seinem mikroskopischen Apparate zuzufügen.

Die Art, wie die Linsen gefasst und unter einander verbunden sind, ist natürlich nicht ganz gleichgültig für die Tüchtigkeit und Brauchbarkeit des Systems. Zuvörderst müssen sie sorgfältig centrirt sein, so dass alle optischen Axen der verschiedenen Linsen genau in derselben geraden Linie liegen. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so muss nothwendig die Nettigkeit und die Form des Bildes darunter leiden.

Dass die stärkste Linse des Systems dem Objecte zugekehrt sein muss, wurde schon früher (§. 106) angegeben. Zur Sicherung dieser Linse ist es dann wünschenswerth, dass von dem messingenen sie umfassenden Röhrchen ein schmaler Rand nach unten etwas über die Fläche vorspringt, um dadurch möglichst zu verhindern, dass die Linse beschädigt werde, wenn man das System unvorsichtiger Weise mit der unteren Fläche auf die Tafel legt oder beim Gebrauche des Mikroskopes dem Objecte zu sehr nähert. Die Röhrchen müssen übrigens eine solche Form haben, dass der Ein- und Austritt der Lichtstrahlen keine Störung erleidet, und die Röhrchen der stärksten Objective, welche dem Objecte am meisten genähert werden, müssen nach unten kegelförmig zulaufen. Diese Form, welche bei vielen, aber doch noch nicht bei allen unseren jetzigen Mikroskopen angetroffen wird, erweist sich nicht ohne Bedeutung beim Gebrauche des Mikroskopes; man läuft dann weniger Gefahr mit der untersten Linse an das Object anzustossen, als wenn das ganze Linsensystem unten gleich breit wie oben ist, wo man nur mit Mühe das drohende Anstossen wahrnehmen kann.

Die Verbindung der Objectivsysteme mit dem Rohre des Mikroskopes wird gewöhnlich durch eine Schraube hergestellt. Ohne anderer früherhin gebräuchlicher Verbindungsweisen zu gedenken, die für eine genaue Centrirung weniger passen, muss ich hier noch die Bajonetverbindung nennen, die dem Zwecke gleich gut entspricht wie die Schraube und sich durch den rascher zu bewirkenden Wechsel auszeichnet; auch läuft man dabei nicht Gefahr, dass die Objectivsysteme aus der Hand gleiten und hinfallen, wie es beim Abdrehen der Schraubenverbindung leicht geschieht. Man muss sich deshalb wundern, dass diese Verbindungsweise nur noch bei wenigen Mikroskopen angetroffen wird.

Von noch anderen zum Theil recht brauchbaren Einrichtungen, um die Objective mit dem Mikroskoprohre in Verbindung zu setzen, wird im historischen Abschnitte die Rede sein.

Die Anzahl der Oculare eines Mikroskopes darf wohl noch geringer sein als jene der Objective. Unerlässlich zur Ausführung fast aller Arten von Untersuchungen erscheinen mir nur zwei Huygens'sche Oculare, von denen das eine 5 bis 6 Mal, das andere 8 bis 10 Mal jenes durch das Objectivsystem erzeugte Bild vergrössert, bei einem ungefähr 20 Centimeter langen Rohre. Will man stärkere Vergrösserungen, die in manchen Fällen nützlich sein können, namentlich bei genauen mikrometrischen Bestimmungen, so kann man noch ein Ocular hinzufügen, welches 12 bis 14 Mal vergrössert. Oculare mit noch stärkeren Vergrösserungen darf man als ganz überflüssig und nutzlos ansehen. Denn wenn es gleich nicht schwer fällt, bei allen neueren Mikroskopen durch starke Oculare oder durch Verlängerung des Rohres eine Vergrösserung von 4000 bis 5000 Mal im Durchmesser zu erlangen, so gewährt dies doch nicht den geringsten Vortheil, wie aus den später ausführlich mitzutheilenden Thatsachen auf überzeugende Weise erhellen wird. 164

Als eine wünschenswerthe, wenngleich nicht unerlässliche Zugabe eines Mikroskopes erachte ich aus den vorhin (§. 162) angeführten Gründen ein Ocular in der Form des Herschel'schen aplanatischen Doublets. Da durch seine Anwendung hauptsächlich ein grosses Gesichtsfeld erlangt werden soll, so braucht es nicht stark zu vergrössern, und es kann in dieser Beziehung sogar recht gut noch etwas unter dem schwächsten Huygens'schen Oculare stehen.

Die beiden Linsen, aus denen ein Ocular besteht, werden durch ein kurzes Rohr vereinigt. Das Huygens'sche Ocular hat ein ringförmiges Diaphragma in jener Höhe, wo das Bild sich formt, also nahe der Brennweite des eigentlichen Oculares. Durch dasselbe werden die schief einfallenden Strahlen abgeschnitten, die der Nettigkeit des Bildes Eintrag thun würden.

Ist das eigentliche Ocular kleiner als der Pupillendurchmesser, oder übertrifft es diesen nur wenig, dann muss seine obere gerade Fläche mit der Oberfläche des umgebenden Randes gleich sein, damit das Auge dem Oculare möglichst genähert werden kann, weil das Gesichtsfeld bei dieser Stellung am grössten ist. In dem Maasse aber, als der Durchmesser des Oculares jenen der Pupille übertrifft, wird man das Auge entfernter davon halten müssen, damit die von den Rändern des Gesichtsfeldes kommenden Strahlen durch die Pupille ins Auge treten können. In diesem Falle ist es also gut, wenn das Ocular etwas unterhalb des Niveaus der oberen Oeffnung liegt.

Die Verbindung der Oculare mit dem Rohre des Mikroskopes wird

jetzt ganz allgemein durch Einschiebung bewirkt, und wegen des leichter möglichen Wechsels verdient dies auch bestimmt den Vorzug vor der früher häufig angewandten Schraubenverbindung.

165 Dass die Länge des Rohres, wodurch das Objectiv und Ocular mit einander verbunden werden, nicht ohne Bedeutung ist für die gehörige Verbesserung der Aberrationen, also auch für die Schärfe des Bildes, haben wir schon früher (§. 138) gesehen. Man würde es also im Allgemeinen für zweckmässig erachten dürfen, wenn der Opticus dem Rohre eine Länge gäbe, die am meisten in Uebereinstimmung steht mit dem Verhalten der Objectivsysteme und der Oculare zu einander. Für einzelne Fälle ist es aber vortheilhaft, wenn das Rohr aus zwei in einander verschiebbaren Röhren zusammengesetzt ist, so dass der Abstand des Objectives vom Oculare eben sowohl verkürzt als verlängert werden kann. In doppelter Beziehung ist diese Einrichtung nützlich. Zuvörderst ist dadurch ein wichtiges Mittel zu ferneren Verbesserungen geboten. Wenn zu einem Mikroskope verschiedene Objective und Oculare gehören, so darf man unmöglich erwarten, dass eine und dieselbe Länge des Rohres auch die beste für alle Combinationen sein werde. Auch kann eine Verkürzung des Rohres beim Gebrauche von Deckplättchen zu statten kommen. Eine vorausgegangene Untersuchung muss darüber Aufschluss geben, bei welcher Länge des Rohres die optische Vollkommenheit des Mikroskopes in den verschiedenen Fällen den höchsten Grad erreicht, und dies kann weiterhin als Richtschnur dienen.

Ein anderer Vortheil dieser Einrichtung liegt darin, dass man es in der Gewalt hat, durch Ein- oder Ausziehen des inneren Rohres die Vergrösserung auf eine bestimmte Zahl zu bringen. Bei manchen mikrometrischen Messungen ist dies sehr vortheilhaft. Einfacher ist es z. B., wenn man den Durchmesser des Bildes mit 500 dividirt statt mit 487 oder 513, oder mit 100 statt mit 93 oder 107. Auch ist es bei manchen Beobachtungen vortheilhaft, den wahren Durchmesser des Gesichtsfeldes auf eine bestimmte Grösse zu bringen, auf 1, 2, 3^{mm} u. s. w. Beides kann geschehen, wenn man die Entfernung zwischen Objectiv und Ocular vergrössert oder verkleinert, wodurch keine sehr in die Augen fallende Abnahme der Bildschärfe eintreten wird, wenn gewisse Grenzen nicht überschritten werden.

Am besten entspricht diesen Zwecken eine auf die innere Röhre eingeschnittene Theilung. Der Opticus oder auch der Besitzer des Mikroskopes selbst kann dann mit deren Hülfe eine Tabelle entwerfen, und daran nach vorgängiger genauer Untersuchung des Instrumentes alle Einzelnheiten verzeichnen, die ihm späterhin bei den Untersuchungen zu Gute kommen.

Die bisher aufgestellten Grundsätze für die optische Einrichtung 166
eines zusammengesetzten Mikroskopes können auf Allgemeingültigkeit Anspruch machen, so dass sie auf jedes derartige Instrument im Besonderen sich anwenden lassen; weit schwieriger ist es dagegen, für die übrige mechanische Einrichtung bestimmte Regeln aufzustellen. Hierbei kommt viel auf die besonderen Bedürfnisse des Beobachters an und für welcherlei Untersuchungen er das Instrument vorzugsweise zu benutzen wünscht. Von zwei Mikroskopen, die in Betreff der mechanischen Einrichtung gleich vorzüglich sind, wird das eine zu einer bestimmten Untersuchung besser geeignet sein können, und für andere Untersuchungen wird man wiederum dem anderen den Vorzug geben.

Es ist allerdings wohl möglich, dass ein und dasselbe Instrument einer grösseren Anzahl von Zwecken entsprechend eingerichtet werde; allein eine solche Vereinigung verschiedener mechanischer Hülfsmittel, wodurch das Instrument natürlich weit kostbarer wird, kann deshalb noch keineswegs in jeder Beziehung als ein Gewinn angesehen werden. Bei solcher Ueberladnng mit Apparaten von allerlei Art, mit Gelenken und Bewegungen in allerlei Richtungen, gehen leicht andere wesentliche Vortheile verloren, namentlich die Festigkeit des ganzen Instrumentes und die Beschränkung seiner Höhe, wodurch es gestattet wird, im Sitzen damit zu arbeiten. Mohl (*Mikrographie*, S. 89) sagt hierüber: „Je einfacher der Bau des Mikroskopes ist, desto schneller und leichter wird man alle nöthigen Bewegungen vornehmen; je complicirter sein Bau ist, desto mehr Ueberlegung und Zeit kosten dieselben und desto mehr wird die Aufmerksamkeit während der Beobachtung zum Schaden derselben getheilt. Wer nicht die manuelle Geschicklichkeit hat, um mit einem einfach gebauten Mikroskope zu beobachten, wer für jede Bewegung, anstatt seine Finger zu gebrauchen, eine Schraube nöthig hat, der ist ohnehin zum mikroskopischen Beobachter untauglich, denn er wird vergeblich ein brauchbares Präparat zu verfertigen sich bemühen.“

Diese Worte enthalten vollkommene Wahrheit und können Jenen zur Beruhigung und Ermuthigung dienen, deren Mittel es nicht gestatten, für den Ankauf eines einzigen Instrumentes einige hundert Gulden zu verwenden, die aber gleichwohl den Zustand der Wissenschaft durch eigene Anschauung kennen zu lernen und das Ihrige zur Förderung beizutragen wünschen. Jeder Beobachter, der sich während einiger Jahre fleissig mit mikroskopischen Untersuchungen beschäftigt hat, wird am liebsten ein Instrument mit der allereinfachsten Einrichtung benutzen, und jedem, der sich daranf zu verlegen gedenkt, glaube ich (wenn er auch nicht gerade auf die Kosten sehen muss) den aus Erfahrung geschöpften Rath ertheilen zu müssen, dass er bei der Auswahl einem solchen Mikroskope den Vorzug giebt, welches ihn nöthigt, viele Bewegungen, die an anderen Instrumenten durch künstliche Mittel ausgeführt werden,

Digitized by Google

mittelst der Hand vorzunehmen. Nach ein Paar Wochen wird er sich überzeugt haben, dass die bestangebrachten Schrauben und Räder niemals mit einer geübten Hand wetteifern können. Viele Jahre hindurch habe ich ein Mikroskop benutzt mit einem Futteral aus Pappe, mit einem hölzernen Objecttische und mit einem in einen beinernen Ring gefassten Spiegel; kleine Glaskügelchen dienten als Linsen, und die Röhrchen, worein diese gefasst waren, wurden durch ein Triebwerk bewegt, wie man es bei altmodischen englischen Lampen antrifft. Jetzt, wo einige der besten und kostbarsten Mikroskope zu meiner Verfügung stehen, kann ich fast alle Beobachtungen, die ich während jener Zeit mit diesem in mechanischer Hinsicht höchst unvollkommenen Instrumente angestellt habe, nur bestätigen, und wenn etwas hinzuzufügen ist, so kommt dies nicht auf Rechnung grösserer Vollkommenheit der mechanischen Einrichtung, sondern die bessere optische Einrichtung der heutigen aplanatischen Mikroskope ist daran Schuld.

Das Hauptziel der mechanischen Einrichtung eines Mikroskopes besteht darin, dass das Rohr, worin der optische Apparat enthalten ist, in die erforderliche Nähe oder Entfernung vom Objecte gebracht wird. Dieses Rohr muss deshalb dergestalt an das Gestell des Mikroskopes befestigt sein, dass seine Axe sich gerade über der Mitte des durchbohrten Objecttisches und dem Mittelpunkte des Beleuchtungsapparates befindet. Mittel, welche dazu dienen sollen, diese Stellung dergestalt abzuändern, dass das Rohr über verschiedene Punkte des Objecttisches gebracht werden kann, sind ganz überflüssig. Es ist einfacher, das Object allein zu bewegen. Ausserdem wird eine gute Regulirung der Beleuchtung, worauf doch so viel ankommt, durch jene Einrichtung gestört.

Zum Behufe der Annäherung kann entweder das Rohr oder der Objecttisch beweglich gemacht werden. Beide Methoden haben ihre Vorzüge und ihre Nachtheile, und man trifft die eine wie die andere Einrichtung bei unseren gegenwärtigen Mikroskopen an. Wird der Objecttisch beweglich gemacht, dann behält das Mikroskop stets die nämliche Höhe, was für den Beobachter einige Bequemlichkeit bietet. Auch in dem besonderen Falle, von dem später ausführlich die Rede sein wird, wo das zusammengesetzte Mikroskop gleichzeitig als tragbares Sonnenmikroskop dienen soll, ist es vorzuziehen, dass der Objecttisch auf und nieder bewegt wird.

Da jedoch der erstgenannte Vortheil kaum in Betracht kommen kann und auch nur unerheblich ist, der zweite aber nur bei einer besonderen Einrichtung sich geltend macht, so erachte ich es im Allgemeinen mit Mohl, Goring und den meisten neueren Autoren über das Mikroskop für zweckmässiger, dass der Objecttisch fest und unbeweglich ist, zumal derselbe nur so jene Sicherheit darbietet, die in vielen Fällen, vornämlich beim Gebrauche des Schraubenmikrometers, so wünschenswerth

ist. Hierzu kommt noch, dass beim Auf- und Niederbewegen des Objecttisches immer eine Veränderung mit der Beleuchtung vorgeht, es müsste denn der Beleuchtungsapparat am Objecttische selbst befestigt sein, wodurch aber dessen Gewicht vermehrt und deshalb die genaue Bewegung benachtheiligt würde.

Ist der Objecttisch feststehend, dann kann er so gross und so schwer gemacht werden, als man es wünscht und für die verschiedenen Apparate, die darauf gestellt werden sollen, nöthig erachtet. Auch ist ein solcher grosser Objecttisch recht bequem, um zu messen und um durch Doppelsehen zu zeichnen.

Hat der Opticus sorgfältig gearbeitet, dann können der Mittelpunkt des Spiegels nnd die optische Axe des Rohres während der Bewegung des letztern genau centrirt bleiben, und damit fällt also auch der Grund weg, den Chevalier (*Die Mikroskope und ihr Gebrauch*, übers. von Kerstein, S. 98) zu Gunsten der Unbeweglichkeit des optischen Apparates angeführt hat.

Stellt man es nun auch als Regel auf, dass das Rohr des Mikroskopes sich auf und nieder bewegen soll, so hat der Opticus gleichwohl noch die Wahl zwischen verschiedenen Methoden der Bewegung. Ohne in Einzelnheiten einzugehen, will ich nur bei den vorzüglichsten stehen bleiben. Die wohlfeilste Einrichtung ist jene, wobei das Rohr in einem zweiten Rohre auf- nnd abgeschoben wird. Aber nur für unbedeutende Vergrösserungen lässt sich bei dieser Einrichtung hinreichende Genauigkeit erzielen, und es muss daher nothwendig noch ein zweites Bewegungsmittel hinzugefügt werden, am besten eine Mikrometerschraube. Deshalb gebe ich der Bewegung durch einen Trieb den Vorzug. Wenn das gezahnte Rad (das übrigens wegen der sanfteren Bewegung besser durch eine Schraube ohne Ende ersetzt werden könnte) nnd die Stange (Säge) gut gearbeitet sind, nnd wenn ersteres eine Scheibe von grossem Durchmesser ist und einen eingekerbten Rand hat, dann lassen sich die gröberen wie die feineren Bewegnngen schnell und mit vollkommener Genauigkeit damit ausführen. Auch unterliegt ein solcher Trieb der Abnutzung weniger als eine Mikrometerschraube. Vielleicht dürfte aber die letztere Denen anzurathen sein, die nicht viel mit dem Mikroskope umgehen und deshalb eher Gefahr laufen, mit dem Objectivsysteme auf das Object zu stossen, wenn sie die Bewegung mittelst eines Triebwerkes statt der stets langsamer wirkenden Schraube ausführen. Aus diesem Grunde werden auch meistens beiderlei Bewegungsarten an den Mikroskopen angebracht.

Die Principien, nach denen der Beleuchtungsapparat eingerichtet sein muss, übergehe ich jetzt, da sie für alle Arten von Mikroskopen (die Bildmikroskope ausgenommen) gelten, und verspare sie für eine spätere besondere Betrachtung.

Digitized by Google

167 Von Manchen ist der horizontalen Stellung des Mikroskopes vor der verticalen der Vorzug gegeben worden, ja Brewster (*Treatise on the Microscope* p. 166) kommt sogar zu der Behauptung, es würde am besten sein, wenn man auf dem Rücken liegend in das nach oben gekehrte Mikroskoprohr blickte, weil nur in dieser Stellung die Flüssigkeit auf der Hornhaut gleichmässig nach allen Richtungen sich ausbreitet. Eine derartige Sorge nicht minder, als die Furcht, die übergebogene Stellung werde Blutandrang nach dem Kopfe bewirken, sind gewiss übertrieben, und die angeführten Gründe sind meines Erachtens nicht zureichend, die verticale Stellung des Mikroskopes als unzweckmässig darzuthun. Sicherlich verdient dieselbe für die gewöhnliche Untersuchung den Vorzug. Ist das ganze Mikroskop horizontal gerichtet, so können auf den alsdann vertical stehenden Objecttisch keine Flüssigkeiten gebracht werden, und kommt in das Rohr ein rechtwinkelig gebogenes Glasprisma, dann bleibt zwar der Objecttisch horizontal, es findet aber ein nicht unbedeutender Verlust an Licht statt. Nur beim Benutzen der *Camera lucida* zum Zeichnen ist es wünschenswerth, dass das Rohr des Mikroskopes horizontal gestellt werden könne. Doch hierauf und auf die verschiedenen anderen katoptrischen Mittel, die dazu dienen können, die Richtung der Strahlen nach Willkür abzuändern, werde ich in einem folgenden Kapitel zurückkommen.

Eine mechanische Einrichtung übrigens, wobei der Körper des Mikroskopes sich um eine horizontale Axe drehen und nach Willkür in eine verticale oder geneigte Stellung gebracht werden kann, bietet unverkennbar mehrere Vortheile, namentlich bei langanhaltender Beobachtung und wenn mikroskopische Gegenstände gezeichnet werden sollen. Dieser Einrichtung begegnet man bei fast allen Mikroskopverfertigern, und sie empfiehlt sich gar sehr da, wo auf eine etwas grössere Kostspieligkeit des Instrumentes nicht besondere Rücksicht genommen werden muss.

168 Was von der gesammten mechanischen Einrichtung eines Mikroskopes gilt, dass nämlich alle Theile desselben stark und fest an einander schliessend sein müssen, damit nur solche Bewegungen daran vorkommen, die man ihm absichtlich ertheilt, das gilt auch ganz besonders von seinem Fusse. Derselbe muss die nöthige Schwere und hinreichenden Umfang haben, dass der darauf ruhende Körper gegen das Umstürzen gesichert ist. Sonst ist es ziemlich gleichgültig, ob dieser Fuss aus drei oder aus vier Füssen oder Klauen besteht, die sich zusammenlegen lassen, ob derselbe rund und trommelartig oder hufeisenförmig ist, oder ob der Kasten, worin das Mikroskop aufbewahrt wird, zugleich als Fuss dient.

Für die Bequemlichkeit des Beobachters erscheint es mir übrigens wünschenswerth, wenn man mehr allgemein das Beispiel jener nachahmte,

Digitized by Google

die ihre Mikroskope in den dafür bestimmten Kästen nicht liegend, sondern stehend unterbringen, damit das Instrument schnell herausgenommen und nach beendigter Untersuchung wieder hineingestellt werden kann. Man würde dadurch das lästige Ausbreiten und Zusammenlegen des Fusses vermeiden, dessen Gelenke überdies dadurch auf die Dauer leiden. Man hat dann auch den nicht gering anzuschlagenden Vortheil, dass man das Mikroskop bei Seite setzt und dabei das Glastäfelchen mit dem Objecte, das erst nach ein Paar Stunden oder am folgenden Tage näher untersucht werden kann, wie etwa bei mikrochemischen Untersuchungen, auf dem Objecttische lässt.

Mag diese Bemerkung auch Manchen unerheblich erscheinen, Jenen, welche täglich von ihrem Mikroskope Gebrauch machen, ist sie es nicht. Gleich mir pflegen schon Viele ihre Mikroskope unter Glasbehälter zu stellen; aber offenbar würde ein gehörig eingerichteter aufrechtstehender Kasten dem Zwecke noch besser entsprechen.

In dem Bisherigen glaube ich die Hauptpunkte berührt zu haben, die bei der allgemeinen Betrachtung der optischen und mechanischen Einrichtung eines zusammengesetzten Mikroskopes in Frage kommen. Eine Menge von Apparaten, die zu verschiedenen Untersuchungen dienen sollen und grossentheils nicht zu den unerlässlichen Erfordernissen für den geübten Beobachter gehören, weil der gesunde Verstand dieselben nicht nur oftmals entbehrlich macht, sondern auch häufig durch bessere, wenngleich weniger zierliche Mittel ersetzt, werden späterhin genannt und beschrieben werden.

Viertes Kapitel.

Katoptrische und katadioptrische Mikroskope.

Wie der schädliche Einfluss der chromatischen Aberration Veranlassung war, dass man während eines längeren Zeitraumes dem Spiegelteleskope vor dem dioptrischen Fernrohre den Vorzug gab, so führte der nämliche Grund auch zu mancherlei Versuchen, das dioptrische Mikroskop durch katoptrische und katadioptrische Instrumente zu ersetzen. Die Geschichte dieser Bestrebungen ist in mehrfacher Hinsicht interessant, wie aus einer Uebersicht derselben im dritten Bande sich herausstellen wird. Hier werde ich nur in den Hauptzügen die allgemeine Einrichtung der in diese Klasse gehörigen Instrumente schildern und zu- 169

gleich die Aufmerksamkeit anf jene Thatsachen hinlenken, auf welche bei der Vergleichnng dieser Mikroskope unter einander nnd mit anderen Mikroskopen das Urtheil sich stützen muss, nm ihren relativen Werth für mikroskopische Untersuchungen festzustellen.

170 Da die Reflexion spiegelnder Flächen eben so wie das Brechungsvermögen durchsichtiger Körper ein Mittel an die Hand giebt, die Lichtstrahlen willkürlich von ihrem Wege abzulenken, so ist es klar, dass Spiegel, welche eine bestimmte Form besitzen, gleich Linsen vergrösserte Bilder zn erzeugen im Stande sein werden. Da über die Theorie dieser Bilderzeugung durch Hohlspiegel das Nöthige schon oben (§. 15 bis 23) mitgetheilt wurde, so will ich hier nnr bemerken, dass sich, wenn man Hohlspiegel statt der Linsen benutzt, sowohl katoptrische einfache Mikroskope (§. 16. e.), als katoptrische Bildmikroskope (§. 16. c.) nnd katoptrische zusammengesetzte Mikroskope herstellen lassen, welche den gleichnamigen dioptrischen Instrumenten ganz entsprechen.

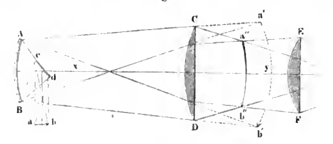
Die Herstellung der zuletzt genannten, nämlich der katoptrischen zusammengesetzten Mikroskope, wo das Objectiv sowohl wie das Ocular durch Spiegel ersetzt werden müssen, ist zwar nicht unmöglich, da der Zweck zu erreichen wäre, wenn man das Ocular aus zwei mit den spiegelnden Flächen einander zugewandten Spiegeln bildete, von denen der vordere durchbohrt sein müsste; indessen ist sie doch bis jetzt nnterblieben, weil mit dieser Einrichtung manche Schwierigkeiten verknüpft sein würden, welche durch den verhältnissmässig geringen Vortheil eines vollkommenen Achromatismus des Oculars nicht scheinen aufgewogen werden zu können. Beim zusammengesetzten Mikroskope hat man daher, unter Beibehaltnng des gewöhnlichen dioptrischen Oculars, nur das Objectiv mit einer katoptrischen Vorrichtung vertauscht, und so entstanden die verschiedenen Arten katadioptrischer Mikroskope, die hier besonders in Betrachtung kommen.

171 Die Anzahl der theils wirklich ausgeführten, theils anch nur vorgeschlagenen Einrichtungen dieser Art ist ziemlich gross, und würde wahrscheinlich dnrch noch andere Combinationen convexer, concaver und ebener Spiegel sich vermehren lassen. Indem ich ihre Aufzählung nnd Beurtheilung für die Folge verspare, werde ich hier nur ein Paar jener Einrichtungen kurz besprechen, damit der Leser, welcher mit dieser Art Mikroskope weniger bekannt ist, vorläufig eine Vorstellung von ihrer Wirkungsweise bekomme.

Eine dieser Einrichtnngen ist znerst von Amici ausgeführt worden; Fig. 71 giebt in sehr verkürztem Maassstabe die optische Zusammensetzung seines katadioptrischen Mikroskopes. *AB* ist eiu elliptischer Metallspiegel; er ist der Scheitelabschnitt einer Ellipsoide, gegenüber der grossen Axe, wie *ab* in Fig. 11 (S. 14), und er hat seine beiden

Brennpunkte in x und in y. Von einem in x befindlichen Objecte würde also (§. 23) in y ein Bild entstehen. In diesem Falle müsste nun

Fig. 71.



aber das Object selbst nothwendiger Weise innerhalb des Mikroskoprohres sich befinden, welches den Spiegel mit dem Oculare in Verbindung setzt, und bei solcher Einrichtung würde es sehr schwer fallen, das Object gehörig zu beleuchten. Deshalb ist in einiger Entfernung vom näheren Brennpunkte x, zwischen ihm und dem Hohlspiegel, ein kleines ebenes Spiegelchen cd unter einem Winkel von 45° angebracht. Die Distanz der beiden Spiegel, vereint mit der Distanz des Objectes, muss der Brennweite des grossen Spiegels gleich sein. Das kleine Spiegelchen fängt nun die Strahlen auf, welche von dem darunter befindlichen Objecte ab ausgehen und reflectirt sie nach dem Hohlspiegel AB, so dass ein Bild $a'b'$ entsteht, dessen Mitte sich im anderen Brennpunkte y befindet. Dieses Bild gewinnt dann noch durch ein Ocular an Grösse, ganz in der Weise, wie dies beim gewöhnlichen zusammengesetzten Mikroskope der Fall ist. In der Figur ist ein Huygens'sches Ocular mit einem Collectivglase CD angenommen, wodurch ein etwas verkleinertes Bild $a''b''$ entsteht; dasselbe befindet sich in der entsprechenden Entfernung vom Oculare EF, dass es durch dieses vergrössert gesehen werden kann. Man würde hier aber auch ein Ocular von Ramsden benutzen können, und vielleicht ist bei katadioptrischen Mikroskopen demselben vor jenem der Vorzug zu geben, weil dann das durch den Spiegel entstandene Bild nicht vorher verkleinert wird und genau im zweiten Brennpunkte der Ellipse sich bilden kann.

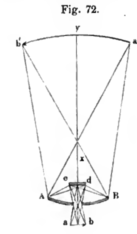
Die Benutzung aplanatischer Oculare, die bei dioptrischen zusammengesetzten Mikroskopen keine besonderen Vortheile bieten, würde bei dieser Art Mikroskope auch sehr passend sein, weil, wenn das Luftbild von chromatischer und von sphärischer Aberration frei ist, auch das Ocular von aller Aberration frei sein kann und selbst frei sein muss, da hier einander entgegengesetzte Aberrationen sich nicht wechselseitig aufheben.

Es ist ersichtlich, dass der Hohlspiegel AB mit dem ebenen Spiegelchen cd vollständig die Stelle des Objectivs in einem zusammengesetzten Mikroskope vertritt, und die Stelle der vergrössernden Linse oder

Digitized by Google

des Linsensystemes in einem Bildmikroskope. Es würde sogar nicht schwer fallen, jedes dioptrische Mikroskop derartig einzurichten, dass es auch mit katoptrischen Objectiven versehen in Gebrauch gezogen werden könnte. Hierzu würde sich indessen ein anderes katoptrisches Objectiv noch besser schicken, welches von Brewster vorgeschlagen, aber meines Wissens noch nicht in Ausführung gebracht worden ist. Dasselbe ist in Fig. 72 dargestellt. Hier ist ebenfalls ein elliptischer Hohlspiegel AB mit einem kleinen ebenen Spiegelchen in Verbindung gebracht; der erstere ist jedoch durchbohrt zum Durchtritte der von einem Objecte ab kommenden Lichtstrahlen, welche auf das ebene senkrecht zur optischen Axe gestellte Spiegelchen cd treffen. Ist dieses Spiegelchen in der gehörigen Entfernung zwischen dem Brennpunkte x und dem grösseren Spiegel AB angebracht, so muss natürlich in dem anderen Brennpunkte y ein Bild $a'b'$ entstehen, und dieses kann dann, wie bei jedem anderen Bildmikroskope, auf einem Schirme aufgefangen oder durch ein Ocular in noch weiterer Vergrösserung beschaut werden.

Fig. 72.



172 Die früher (§. 23) besprochenen Eigenschaften einer spiegelnden ellipsoidischen Oberfläche machen es klar, dass in Fig. 11 (S. 14) ausser den Scheitelabschnitten ab oder st auch noch andere Abschnitte dieser Oberfläche als katoptrische Objective verwendet werden können. Von Doppler wurde dazu der Abschnitt cd empfohlen, womit ein doppelter Vortheil verbunden sein sollte: einmal nämlich kann dann das Object selbst in den Brennpunkt x kommen und dadurch die doppelte Reflexion von zwei Spiegeln vermieden werden, womit sich immer ein entschiedener Lichtverlust verknüpft; zweitens aber soll nach Doppler ein durch einen derartigen Spiegelabschnitt erhaltenes Bild jener Abweichung, welche wir als elliptische Aberration bezeichnet haben (§. 23), weniger unterworfen sein. In der That ist der Zwischenraum zwischen den Bildern $g'h'$ und $g''''h''''$ von den Spiegelabschnitten ab und cd bedeutend grösser, als jener zwischen den Bildern $g''''h''''$ und $g'''h'''$ von den Spiegelabschnitten cd und fe, so dass man schliessen muss, die elliptische Aberration sei um so grösser, je mehr der Spiegelabschnitt dem Punkte genähert ist, wo die grosse Axe der Ellipse die Peripherie trifft. Indessen stellt sich diesen Vortheilen der nicht unerhebliche Nachtheil gegenüber, dass der Spiegelabschnitt cd auffallend weniger vergrössert als der Scheitelabschnitt ab. Die Brennweite müsste daher in einem

entsprechenden Verhältnisse verkürzt werden, und die gehörige Beleuchtung würde dann rasch auf grosse Schwierigkeiten stossen; oder man müsste die Vergrösserung dadurch verstärken, dass man der Ellipsoide, von deren Oberfläche der Spiegel einen Theil ausmacht, eine viel grössere Länge ertheilte, wodurch aber nicht blos der Durchmesser des Bildes, sondern gleichzeitig auch der Einfluss der elliptischen Aberration zunehmen würde. Ob die Verwendung eines solchen Spiegelabschnittes, wenn auch nicht ganz nach der unausführbaren und unpraktischen Idee Doppler's, der für ein katadioptrisches Mikroskop von solcher Zusammensetzung ein ganzes Haus gebaut haben will, wirklich vor dem gewöhnlich benutzten Scheitelabschnitte den Vorzug verdient, darüber kann blos die Erfahrung entscheiden, vorausgesetzt, dass es der Kunst gelingen sollte, einen also geformten Spiegel zu schleifen, was zu bezweifeln indessen noch Gründe vorliegen.

Ein katadioptrisches Mikroskop, welches die letztgenannte Einrichtung hätte, würde aber noch den Vorzug besitzen, dass die ganze Spiegeloberfläche wirklich nutzbar gemacht wäre und dass der Oeffnungswinkel zugleich auch das richtige entsprechende Maass der Lichtstärke des Bildes gäbe. Bei den anderen Einrichtungen nämlich ist dies nicht der Fall, da ebensowohl bei der Oeffnung in der Mitte des Spiegels, als bei dem ebenen Spiegelchen, welches den mittleren Strahlenbündeln den Weg versperrt, nur jene Strahlen, welche von seitlich gelegenen Abschnitten des Spiegels reflectirt werden, zur Zusammensetzung des Bildes beitragen. Für solche katoptrische Objective muss deshalb eine Reduction eintreten und man muss berechnen, wie gross die Oeffnung und folglich auch der Oeffnungswinkel eines äquivalenten Hohlspiegels sein würde, dessen ganze Oberfläche nutzbar gemacht wird. 173

Nehmen wir z. B. einen durchbohrten Spiegel und denken uns der Einfachheit wegen (was ohne auffälligen Irrthum geschehen kann) den Durchmesser des Lichtkegels, wo dieser auf den Spiegel fällt, dem Durchmesser des letzteren gleich. Der Fall ist dann so, dass aus dem kreisförmigen Durchschnitte des Lichtkegels ein ebenfalls kreisförmiger Abschnitt weggenommen ist, und es wird die Oeffnung des äquivalenten Spiegels deshalb dem Durchmesser eines anderen Kreises entsprechen, dessen Inhalt jenem des übrig gebliebenen ringförmigen Abschnittes gleichkommt. Der Radius dieses Kreises oder der halbe Durchmesser der Oeffnung wird gefunden, wenn man aus der Differenz zwischen den Quadraten der Radien des grossen und des kleinen Kreises die Quadratwurzel zieht. Man findet alsdann durch Berechnung, oder indem man den nach diesem Verfahren gefundenen Durchmesser und die Brennweite nach einem vergrösserten Maassstabe auf das Papier bringt, in der Art wie dieses (§. 121) für die Auffindung des Oeffnungswinkels von Linsen

Digitized by Google

angegeben worden ist, den Oeffnungswinkel des äquivalenten Hohlspiegels*).

Hätte ein Hohlspiegel von 18^{mm} Durchmesser eine Brennweite von 15^{mm}, so wird man den Oeffnungswinkel $= 61^0 56'$ finden. Befindet sich aber in diesem Spiegel ein kreisförmiger unwirksamer Theil oder eine Oeffnung von 6^{mm} Durchmesser, dann wird der wirklich benutzte Abschnitt einem Spiegel gleichkommen, dessen halber Radius $= \sqrt{(81 - 9)} = 8{,}49^{mm}$ ist. Der ganze Durchmesser der Oeffnung ist dann $16{,}98^{mm}$ und für die nämliche Brennweite erhält man dann einen Oeffnungswinkel von $58^0 12'$.

174 Vergleichen wir die dioptrischen Objective mit den allein brauchbaren elliptischen katoptrischen Objectiven, so zeigt sich eine Hauptverschiedenheit darin, dass die ersteren bei allen Abständen Bilder zu erzeugen im Stande sind, die letzteren dagegen einen einzigen bestimmten Abstand verlangen, bei welchem das Bild sich mit Schärfe darstellt. Da es nun bei Bildmikroskopen wünschenswerth ist, mit diesem Abstande wechseln zu können, so sind die katoptrischen Objective, wenn sie auch sonst in der Wirkung mit den dioptrischen übereinstimmten, weniger brauchbar.

Bei katadioptrischen Mikroskopen ist dieses Hemmniss von weit geringerer Bedeutung, und wenn man die Sache blos theoretisch betrachtet, so könnte man sehr geneigt sein, ihnen den Vorzug zu geben vor den dioptrischen Mikroskopen. Bei den ersteren hat man nämlich nichts vom Einflusse der chromatischen Aberration zu fürchten, die bei den letzteren, wie wir gesehen haben, zwar einer grossen Verbesserung fähig ist, aber doch niemals vollkommen beseitigt werden kann. Auch ist die sphärische Aberration, selbst bei Spiegeln mit sphärischer Krümmung, viel geringer als bei Linsen mit gleicher Oeffnung und Brennweite. Beträgt z. B. die Grösse beider 10 Maasstheile, so erreicht die Länge dieser Aberration:

Sphärischer Hohlspiegel	0,31	Theile
Gleichmässig biconvexe Glaslinse ($n = 1{,}5$) . .	4,17	„
Linse von der besten Form	2,68	„

Im günstigsten Falle beträgt also die Aberrationslänge bei einem Spiegel nicht mehr als $1/8$ bis $1/9$ jener Länge, die bei einer Linse von gewöhnlichem Glase beobachtet wird. Uebrigens nimmt die Länge der

*) Ist der halbe Durchmesser des Spiegels $= R$, und der halbe Durchmesser seines unwirksamen Theiles $= r$, dann ist der halbe Durchmesser des äquivalenten Hohlspiegels $R = \sqrt{(R^2 - r^2)}$; und wenn die Brennweite $= p$, der Oeffnungswinkel $= Q$ ist, dann ist *tang.* $\frac{1}{2} Q = \frac{R}{p}$.

sphärischen Aberration etwas ab, wenn Glas mit einem grösseren Brechungsindex zur Anwendung kommt (§. 51).

Ueberdies lässt sich der Einfluss dieser Aberration vollkommen beseitigen, wenn man den Spiegeln eine genau elliptische Form giebt. Es bleibt zwar dann noch die elliptische Aberration übrig; deren Einfluss ist jedoch sehr unbedeutend im Vergleich zu jenem der beiden anderen Aberrationsarten, und in der Mitte des Gesichtsfeldes ist derselbe gerade-zu = Null.

Wenn aber auch zugegeben werden muss, dass diese Vortheile sehr erheblich sind, so wird man mit der günstigen Entscheidung doch noch anstehen müssen, so lange nicht die praktische Ausführung mit der theoretischen Anschauung gleichen Schritt hält. Der Streit zwischen dioptrischen und katoptrischen Mikroskopen ist durchaus der nämliche, wie zwischen dioptrischen und katoptrischen Teleskopen. Abwechselnd hat das eine oder das andere Princip die Oberhand behalten, je nachdem es der Kunst gelang, auf dem einen oder auf dem anderen Wege grössere Fortschritte zu machen, und es lässt sich nicht mit Bestimmtheit vorhersagen, welche Einrichtung endlich den Sieg davon tragen wird.

Mit grosser Wahrscheinlichkeit darf indessen soviel behauptet werden, dass die dioptrischen Mikroskope, zumal nach ihrer so erheblichen Vervollkommnung in der letzten Zeit, von den katoptrischen niemals vollständig werden verdrängt werden. Die Anfertigung der letzteren sowohl wie ihre Benutzung unterliegt grossen Schwierigkeiten, deren Beseitigung sich nicht voraussehen lässt. Eine genau elliptische Gestaltung ist nur mit grosser Mühe und Sorgfalt zu erreichen, namentlich bei Spiegelchen mit kurzer Brennweite. Goring (*Micrographia* p. 23, 25) berichtet, dass Cuthbert, der unter allen Optikern bis jetzt die besten katadioptrischen Mikroskope verfertigt hat, manchmal eine ganze Woche hindurch an einem einzelnen Spiegelchen arbeitete, bevor er demselben die gewünschte Form verschaffte. Nach ihm soll eine Formabweichung, die nicht mehr als $^1/_{1000000}$ Zoll beträgt, schon Einfluss auf die Nettigkeit des Bildes ausüben. Ist auch diese auf Schätzung beruhende Behauptung vielleicht etwas übertrieben, sie beweist doch wenigstens, dass Goring, dem man in Betreff der Mikroskope und namentlich in Betreff der katadioptrischen Mikroskope Kenntniss und Erfahrung nicht absprechen kann, sich vollkommen davon überzeugt hat, welche grosse Mühe die Anfertigung guter katadioptrischer Objective verlangt.

Gelingt es nun aber auch, wie es wirklich gelungen zu sein scheint, katadioptrische Mikroskope herzustellen, die in optischer Hinsicht gleich vollkommen sind als die dioptrischen, die wir bis jetzt kennen, der Gebrauch der ersteren würde dennoch mit Unbequemlichkeiten verbunden sein, die man nicht übersehen darf bei einem Instrumente, womit man arbeiten will, und das nicht als Kunst- und Prunkstück in einen Kasten

Digitized by Google

kommen soll, aus dem man es bei seltenen Gelegenheiten herausnimmt, um ein Paar eigends dafür bestimmte Objecte durch dasselbe betrachten zu lassen. Bei fast allen mikroskopischen Untersuchungen müssen die Objecte befeuchtet werden, nicht immer blos mit Wasser, auch mit flüchtigen Säuren, mit Essigsäure, Salzsäure, Salpetersäure u. s. w. Wird das Object mit einem Glasplättchen bedeckt, dann haben die Glaslinsen eines dioptrischen Objectives wenig oder gar nichts davon zu besorgen, wogegen ein metallenes Spiegelchen dadurch ganz und gar verdorben werden würde.

Noch einen Punkt endlich dürfen wir bei dieser Vergleichung nicht mit Stillschweigen übergehen. Beim Gebrauche einer Glaslinse tritt eine sehr ansehnliche Menge von Lichtstrahlen auf der anderen Seite der Linse wiederum heraus. Schon früher führte ich an, dass nach den Berechnungen W. Herschel's (*Phil. Transactions* 1830, p. 65) von 100 einfallenden Strahlen 94,8 durch eine einfache Linse, 89,9 durch ein Doublet und 85,2 durch ein Triplet gehen werden. Derselbe fand nun aber, dass in Folge der Reflexion einer einfachen spiegelnden Metallfläche von 100 auffallenden Strahlen nur 67,3 reflectirt werden, und dass bei einer doppelten Reflexion, welche meistentheils bei katadioptrischen Mikroskopen vorkommt, nur noch 45,2 Strahlen von jenen 100 übrig bleiben würden.

Die Resultate, zu denen Tulley nach Goring and Pritchard (*Micrographia* p. 111) bei vergleichenden Versuchen gelangte, stimmen ziemlich hiermit überein. Die Helligkeit eines Newton'schen Spiegelteleskopes verhielt sich zu jener eines dioptrischen Teleskopes mit einem Objective, dessen Oeffnung jener des Spiegels gleich war, wie 1 : 2,56. Goring hat hieraus berechnet, dass die Lichtstärke eines Amici'schen katadioptrischen Mikroskopes, dessen optische Zusammensetzung ganz mit jener eines Newton'schen Teleskopes übereinstimmt, zur Helligkeit eines zusammengesetzten dioptrischen Mikroskopes, welches mit nur Einem Objectivglase versehen ist, sich wie 1 : 2,88 verhält, wenn der kleine ebene Spiegel, wie gewöhnlich, $^1/_3$ vom Durchmesser des grösseren Spiegels hat, und wie 1 : 3,04, wenn (wie es bei den stärksten katoptrischen Objectiven dieser Art nothwendig ist) der Durchmesser des kleinen Spiegels halb so gross ist, wie jener des grossen. Da sich nun, wie wir eben gesehen haben, die Helligkeit einer einfachen Linse zu jener des Triplets verhält wie 94,8 : 85,2, so folgt hieraus, dass bei gleichem Oeffnungswinkel die Helligkeit eines katoptrischen Objectives nach Amici's Construction zu jener eines aus drei Linsen zusammengesetzten Objectivsystemes unter gewöhnlichen Umständen sich wie 1 : 2,59 verhalten wird, und bei stärkeren Objectiven wie 1 : 2,73.

Freilich hat diese grosse Verschiedenheit in der Lichtstärke bei Mikroskopen nicht den grossen Einfluss wie bei Teleskopen, weil jene

Digitized by Google

den grossen Vortheil voraus haben, dass die Objecte stark beleuchtet werden können, und deshalb ist auch Goring der Meinung, dass die stärkere oder schwächere Lichtstärke der Mikroskope kein Moment sei, wonach ihre verhältnissmässige Brauchbarkeit beurtheilt werden dürfe. Darin kann ich ihm aber nicht beistimmen. Auch scheint diese Ansicht mit dem von ihm anerkannten Principe, dass das durchdringende Vermögen eines Mikroskopes von der Grösse des Oeffnungswinkels seines Objectives, mit anderen Worten also von seiner Lichtstärke abhängig ist, nicht vereinbar zu sein. Jeder mikroskopische Beobachter weiss ja, dass eine stärkere künstliche Beleuchtung nicht hinreicht, die fehlende Helligkeit des Instrumentes selbst ganz zu ersetzen, da bei durchfallendem Lichte die schwächsten Tinten oder jene, welche durch die am wenigsten undurchsichtigen Theile eines Objectes bedingt sind, alsdann ganz verloren gehen, und da überdies hierbei eher Interferenzen entstehen, wodurch Verwirrung in den Gesichtseindruck kommt.

Goring (l. c. p. 115) hat noch auf einen Umstand aufmerksam gemacht, der sich in meiner Erfahrung vollkommen bestätigt hat: das ganze Gesichtsfeld bekommt bei einem katadioptrischen Mikroskope einen braunen Teint, welcher dadurch entsteht, dass nicht alle Strahlen gleichmässig durch Metallspiegel reflectirt werden. Diese Färbung ist dem Auge unangenehm, wenngleich sie kein hinreichender Grund ist, vom Gebrauche katadioptrischer Mikroskope abzustehen; denn auf die Genauigkeit der Beobachtung kann sie keinen Einfluss ausüben, sobald man sie kennt.

Als das Endergebniss dieser Vergleichung glaube ich aussprechen zu dürfen, dass, wenn es auch der Kunst nicht gerade unmöglich sein mag, einmal katoptrische Objective zu verfertigen, welche den besten dioptrischen den Rang ablaufen, die Benutzung der ersteren doch stets eine sehr beschränkte bleiben wird. Sollte die Kunst es soweit gebracht haben, dann kann man einem dioptrischen zusammengesetzten Mikroskope auch wohl noch ein Paar katoptrische Objective zufügen, die bei dafür passenden Objecten gebraucht werden. So weit aber die Sache jetzt sich übersehen lässt, wird auch im Verfolge der Zeit das dioptrische Mikroskop, als das zu eigentlichen Untersuchungen dienende Instrument, den Ruhm, den es seit vielen Jahren sich erworben hat, stets behaupten.

Digitized by Google

Fünftes Kapitel.

Die Hülfsmittel zu einer veränderten Richtung der Strahlenbündel und zum Projiciren der Bilder.

175 Für manche Zwecke, um z. B. das durchs Mikroskop Wahrgenommene zu messen, zu zeichnen u. s. w., kann es vortheilhaft sein, wenn man die Strahlen, bevor sie ins Auge treten, in eine andere Richtung bringt, so dass die Ebene, in welcher sie sich bewegen, mit der ursprünglichen Richtungsebene einen Winkel bildet, ohne dass jedoch ihre relative Richtung unter einander hierdurch eine Veränderung erleidet.

Man benutzt hierzu verschiedene katoptrische Mittel, die mehr oder weniger bei jeder Mikroskopart anwendbar sind und deshalb füglich zusammen in einem besonderen Kapitel betrachtet werden können. Sie zerfallen aber zunächst in zwei Klassen, nämlich:

1) Mittel, wodurch die Lichtstrahlen im Inneren des Mikroskoprohres eine veränderte Richtung bekommen sollen;

2) Mittel, wodurch die bereits aus dem Mikroskope ausgetretenen Strahlen unter einem anderen Winkel ins Auge geführt werden sollen, so dass sie von einem ausserhalb des Mikroskopes befindlichen Punkte zu kommen scheinen.

176 Zur Erreichung dieser Zwecke bietet sich ein doppelter Weg dar: man kann entweder ebene Metallspiegel benutzen, oder man kann das Princip der totalen Reflexion an der Grenze zweier durchsichtiger Medien (§. 30) in Anwendung bringen.

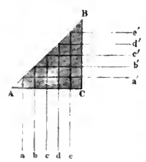
Die Erfahrung lehrt, dass der letztere Weg im Allgemeinen den Vorzug verdient, weil dabei ein geringerer Verlust an Licht stattfindet. Bei der Reflexion von einer metallischen spiegelnden Oberfläche werden nämlich von den senkrecht auffallenden Strahlen 33 Procent nicht reflectirt, während der Verlust beim Durchtritte durch eine nicht zu dicke weisse Glasplatte nur 8 Procent und selbst noch weniger beträgt.

177 Wenn man den Strahlen innerhalb des Mikroskoprohres eine andere Richtung geben will, so benutzt man ganz passend Glasprismen, durch deren Form die Richtung bestimmt wird, in welcher die Strahlen weiterhin ihren Weg nach dem Auge fortsetzen werden.

Die gebräuchlichste Form ist das rechtwinkelige Prisma, dessen Durchschnitt in Fig. 73 dargestellt ist. Treffen die parallelen Strahlen a, b, c, d, e senkrecht auf dieses Prisma, so werden sie, ohne eine Brechung

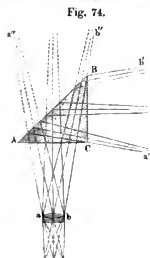
zu erleiden, die Hypothenusenfläche AB erreichen, und zwar unter einem Winkel von 45°. Da nun gewöhnliches Glas einen Grenzwinkel von etwa 40° besitzt, so erfolgt an dieser Fläche eine vollständige Reflexion unter dem nämlichen Winkel von 45°, die Strahlen bilden daher einen rechten Winkel mit der ursprünglichen Richtung und verlaufen nach a', b', c', d', e'. Ist also ein solches Prisma mit der Fläche BC dem Auge zugekehrt, so wird man alle Objecte wahrnehmen, die ihre Strahlen nach der Oberfläche AB entsenden. Man sieht aber auch zugleich, dass die Gegenstände sich nicht mehr ganz in der ursprünglichen Richtung darstellen. Wie bei jeder Reflexion (§. 9) findet auch hier eine halbe Umkehrung statt, wie aus der Figur zu entnehmen ist, worin die reflectirten Strahlen im Verhältniss zu den einfallenden in umgekehrter Ordnung auf einander folgen.

Fig. 73.



Ein solches rechtwinkeliges Glasprisma lässt sich an allen Punkten des Rohres zwischen dem Objective und dem Oculare anbringen; nur muss das Rohr, wie sich von selbst versteht, alsdann an dieser Stelle rechtwinkelig umgebogen sein. Man sieht in Fig. 74, welchen Gang die Lichtstrahlen nehmen, wenn ein solches Prisma dicht oberhalb des Objectives eines zusammengesetzten Mikroskopes angebracht wird. Wäre das Prisma ABC nicht da, dann würden die divergirenden Strahlenbüschel, deren Begrenzung in a und b befindlich ist, in der Richtung der punktirten Linien a'' und b'' fortgehen; durch das Prisma werden sie aber nach a' und b' reflectirt, ohne dass der Grad ihrer Divergenz sich im Geringsten abändert, weshalb auch die Entfernung, in welcher das Bild entsteht, durchaus die nämliche bleibt.

Fig. 74.

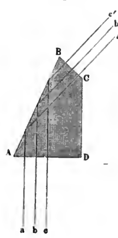


Der Nutzen eines solchen Prisma, wodurch man in den Stand gesetzt wird, in horizontaler Richtung in ein Mikroskop zu sehen, ohne dass man den Objecttisch aufrecht zu stellen braucht, was auch die Art der meisten Untersuchungen nicht gestattet, lässt sich aus einem doppelten Gesichtspunkte betrachten.

Zunächst finden es Manche mehr zusagend, wenn sie in ein horizontal gestelltes, statt in ein verticales Mikroskop sehen (§. 167). Dieser Grund würde aber nur in dem Falle für das Prisma geltend gemacht werden können, wenn die horizontale Stellung auf die Schärfe des Bildes keinen schädlichen Einfluss übte. Ein solcher schädlicher Einfluss besteht aber, und zweierlei Ursachen können dabei zusammenwirken. Das Mikroskop verliert nämlich dadurch an Lichtstärke, und wenn der Verlust auch geringer ist als bei einem Metallspiegel, so ist er doch nicht so unbedeutend, dass er ganz ausser Acht gelassen werden dürfte. Ferner muss auch die allergeringste Abweichung der Oberflächen vollkommen ebener Flächen schädlich wirken, da hierdurch in der ursprünglichen relativen Richtung der Strahlen eine Verwirrung entsteht. Dass aber das Schleifen einer vollkommen ebenen Fläche zu den schwierigsten Aufgaben zählt, weiss jeder Mechanicus, und es steht zu erwarten, dass auch die am sorgfältigsten gearbeiteten Prismen keine vollkommen ebenen Flächen haben werden. Wie dem auch sei, die Erfahrung hat gelehrt, dass selbst das vortrefflichste Prisma der Schärfe der Bilder einigen Abbruch thut, und deshalb kann man ein solches durchaus nicht als **feststehenden** Bestandtheil der optischen Einrichtung eines Mikroskopes gelten lassen. Auch sind jene, welche sich desselben früherhin bedient haben, jetzt wiederum davon zurückgekommen.

Das Prisma kann aber auch zweitens in Anwendung gezogen werden, um, wenn die Strahlen in eine horizontale Richtung gebracht worden sind, mittelst der *Camera lucida* und ähnlicher Vorkehrungen, von denen alsbald weiter die Rede sein wird, die Bilder messen und zeichnen zu können. In diesem Falle ist das Prisma nur ein **transitorischer Bestandtheil** des Mikroskopes, und für diese Benutzung gehört es zu dessen brauchbarsten Beigaben. Es ist aber zu diesem Zwecke ausreichend, wenn das Prisma in einem besonderen rechtwinkelig umgebogenen Rohre enthalten ist, welches mit einem Ende in das Rohr des Mikroskopes passt und an dem anderen Ende die Oculare aufnehmen kann.


Fig. 75.



Offenbar bietet auch diese Einrichtung bei länger andauernden Untersuchungen, so wie beim Zeichnen, dem Beobachter einige Bequemlichkeit. Indessen entspricht diesem Zwecke, wenn man nicht die *Camera lucida* anwendet, noch besser ein Prisma, welches, wie in Fig. 75, die Strahlen in einer der Haltung des Kopfes besser entsprechenden Richtung reflectirt und

bei dessen Gebrauche das Ocular ungefähr einen Winkel von 45° mit dem Rohre des Mikroskopes macht.

Benutzt man solche Prismen, namentlich das erste, so ist es räthlich, während der Beobachtung das Licht abzuschliessen, welches zur Seite des Oculares ins Auge gelangen könnte; durch dasselbe würde die Pupille kleiner werden, also ein Strahlenbündel von kleinerem Durchmesser aus dem Mikroskope durchtreten lassen, und das Netzhautbild würde dann weniger Lichtstärke haben. Es genügt hierzu, das Ocular mit einer durchbohrten Scheibe zu umgeben; dieselbe kann aus Pappe bestehen, die mit schwarzem Papier überklebt ist.

Werden reflectirende Prismen benutzt, dann kann man das Mikro- 178
skop auch so einrichten, dass die vorderste Objectivlinse nach oben gekehrt ist, so dass man das Object darüber statt darunter bringen kann, was namentlich bei mikrochemischen Untersuchungen sich vortheilhaft bewährt, so wie in jenen Fällen, wo man Deckplättchen zu vermeiden wünscht.

Dies kann entweder mittelst eines rechtwinkeligen Prisma geschehen oder mittelst eines solchen, welches durch wiederholte Reflexion das Strahlenbündel unter einem mehr oder weniger spitzen Winkel nach dem Oculare reflectirt. Beiderlei Fälle sind in Fig. 76 und 77 dargestellt.

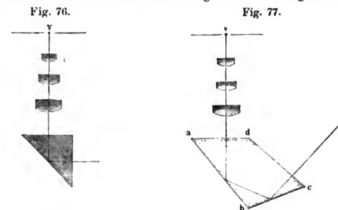


Fig. 76. Fig. 77.

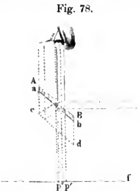
Eine andere Klasse katoptrischer Mittel hat, wie erwähnt, den Zweck, 179
die Richtung der Strahlenbündel zu verändern, nachdem sie das Mikroskop verlassen haben, bevor sie aber noch ins Auge gelangt sind.

Das einfachste Mittel dieser Art hat man in einer gewöhnlichen Glasplatte. Bringt man eine solche Glasplatte AB (Fig. 78 a. f. S.) in einen Winkel von 45° zur Axe des Auges, so werden die von einem Objecte p ausgehenden Strahlen, die mit der Glasfläche ebenfalls einen Win-

Digitized by Google

kel von 45° bilden, nach dem Auge zu reflectirt werden, und man wird das Bild des Objectes in einer Richtung sehen, welche zur wahren Richtung des Objectes rechtwinkelig ist. Da nun die Glasplatte durchscheinend ist, so sieht das darüber gehaltene Auge auch zugleich die darunter befindlichen Objecte. Ist z. B. *ef* der Durchschnitt einer Fläche, dann wird ein Bild *p'* darauf wahrgenommen werden, oder wie man sich gewöhnlich auszudrücken pflegt, das Bild *p'* wird darauf projicirt. Befindet sich ein Stück Papier an jener Stelle, so wird man gleichsam eine Zeichnung des Bildes darauf wahrnehmen.

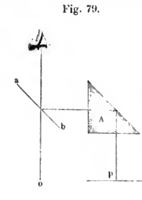
Fig. 78.



Eine solche kleine Glasplatte kann nun unter dem genannten Winkel über der Oeffnung eines Oculares befestigt werden, was leicht mit etwas Wachs ausführbar ist; man wird dann die Bilder im Gesichtsfelde in einer Fläche wahrnehmen, die mit dem Rohre des Mikroskopes parallel liegt. Bei verticaler Stellung des Mikroskopes liegen die Bilder ebenfalls in verticaler Fläche; liegt das Rohr dagegen horizontal, dann sieht man die Bilder ebenfalls in horizontaler Ebene. Da nun die letztgenannte Ebene zum Zeichnen und Messen den Vorzug verdient, so muss das Rohr bei diesen und den meisten übrigen derartigen Apparaten horizontal gestellt werden, und hierzu eignet sich am besten das rechtwinkelige Prisma.

Noch zweckmässiger ist es aber, unmittelbar in gleicher Höhe mit dem Glasplättchen selbst und zur Seite des Mikroskoprohres ein solches rechtwinkeliges gläsernes Prisma anzubringen (Fig. 79). Das Mikroskop kann alsdann seine gewöhnliche verticale Stellung behalten, denn der in *p* befindliche Bleistift oder andere Objecte ausserhalb des Mikroskopes werden zugleich mit dem Objecte *o* im Gesichtsfelde wahrgenommen werden. Diese Einrichtung lässt sich füglich an einem Ringe befestigen, den man nach Bedürfniss mit dem Oculare in Verbindung setzt oder wieder wegnimmt, und dabei ist es räthlich, das Prisma *A* um eine Axe beweglich zu machen, so dass die reflectirende Fläche unter verschiedene Winkel gebracht werden kann.

Fig. 79.



Benutzt man, wie in Fig. 78, als Reflexionsmittel ein Glasplättchen, 180
dann wird nur ein kleiner Theil der unter einem Winkel von 45° darauf fallenden Strahlen reflectirt werden. Legt man einige Untersuchungen Fresnel's zu Grunde, so würde dieser Bruchtheil sogar nur $^1/_{18}$ des einfallenden Lichtes sein, und die übrigen $^{17}/_{18}$ würden ihren Weg durch das Glas fortsetzen. Neben diesem Lichtverluste tritt aber noch ein anderer nnangenehmer Umstand ein. Die Lichtstrahlen nämlich, welche an die Unterfläche *ab* kommen, erleiden dort noch eine zweite Reflexion. Aus der Figur ist nun ersichtlich, dass die an beiden Oberflächen reflectirten Strahlen keineswegs zusammenfallen, und so sieht das Auge ausser dem Bilde p' noch ein daneben liegendes mehr verschwimmendes Bild p'', welches durch die Reflexion an der unteren Fläche entstanden ist.

Letztere Unannehmlichkeit wäre auf doppelte Weise zu beseitigen. Zuvörderst könnte man ein Glasplättchen von so geringer Dicke gebrauchen, dass der Rand des zweiten Bildes nicht mehr sichtbar würde, weil er beinahe mit jenem des ersten Bildes zusammfiele. Die dünnsten geschliffenen Glasplättchen reichen aber hierzu noch nicht aus. Auch wenn man Deckplättchen nimmt, die nur $^1/_5{}^{mm}$ dick sind, wird man noch immer einen doppelten Rand um die Bilder wahrnehmen. Besser entspricht dem Zwecke ein ebenes Glimmerblättchen. Glimmer lässt sich leicht in Blättchen spalten, die nur $^1/_{20}$ bis $^1/_{30}{}^{mm}$ dick sind, und bei solcher Dünne bemerkt man nicht mehr die doppelten Ränder an den Bildern. Wirklich habe ich gefunden, dass ein solches Glimmerblättchen von etwa 10 bis 12 Quadratmillimeter, welches mit etwas Wachs über der Oeffnung des Oculares unter einem Winkel von 45° festgeklebt wird, die kostbarere *Camera lucida* und andere Apparate der Art in sehr vielen Fällen entbehrlich macht.

Man kann aber auch den nämlichen Zweck dadurch erreichen, dass man statt eines Glasplättchens von gewöhnlicher Dicke ein solches anwendet, welches dick genug ist, dass die Strahlen, welche von der unteren Fläche reflectirt werden, nicht zugleich mit jenen von der oberen Fläche in die Pupille eintreten können. Das Glas muss dann 5 bis 6^{mm} dick sein. Wäre *ABcd* in Fig. 78 der Durchschnitt einer solchen Glasplatte, und *AB* die obere, *cd* die untere Fläche, so ist aus der Figur deutlich zu entnehmen, wie die von der unteren Fläche reflectirten Strahlen seitlich von der Pupille auftreffen, das Bild im Auge also nur von jenen Strahlen gebildet wird, welche von der oberen Fläche reflectirt wurden.

Aus dem bisher Angeführten ergiebt sich, dass man bei dem einen 181
wie bei dem anderen Verfahren immer einen grossen Theil des auf die spiegelnde Oberfläche fallenden Lichtes verliert, weil daselbst keine vollständige Reflexion stattfindet. In vielen Fällen wird man allerdings

Digitized by Google

wohl damit auskommen; hat aber das Bild im Gesichtsfelde des Mikroskopes wenig Lichtstärke, dann ist es besser, man benutzt **Wollaston's** *Camera lucida*, weil in dieser nicht mehr Licht verloren geht, als beim Durchgange durch Glas im Allgemeinen. Sie ist in Fig. 80 im Durchschnitte dargestellt. *ABCD* ist ein kleines gläsernes Prisma, an dem *B* rechtwinkelig ist, *C* aber 135° beträgt. Die Strahlen, welche von einem in *p* befindlichen Objecte kommen, werden dann zweimal vollständig reflectirt, bei *a* und bei *b*, und erreichen das Auge in der Richtung, als ob das Object in *p'* befindlich wäre. Kommt die Oberfläche *BD* vor die Oeffnung eines Oculares, dann wird das Bild unter einem rechten Winkel auf eine darunter befindliche Fläche projicirt.

Fig. 80.

182 Es giebt noch andere Methoden, mittelst deren man das nämliche Ziel erreichen kann, die aber zum Theil auf einem anderen Principe beruhen. In Fig. 81 ist *a* der Durchschnitt eines kleinen runden Metallspiegels, der nach seinem Erfinder der **Sömmerring'sche** Spiegel genannt wird; er hat ungefähr 2^{mm} Durchmesser, ist also kleiner als die Pupille. Wird derselbe unter einem Winkel von 45° einem Objecte zugekehrt, dann treten die reflectirten Strahlen unter gleichem Winkel ins Auge. Da aber die Pupille etwas grösser ist als das Spiegelchen, so sieht das Auge gleichzeitig auch die Objecte, die in der nämlichen Richtung liegen; denn von der Fläche *de* werden jene Strahlen, welche von den Punkten *b*, *c* u. s. w. ausgehen, zugleich mit den durch das Spiegelchen reflectirten Strahlen, an dessen Rändern sie vorbeigehen, das Auge erreichen, und durch die Pupille zur Netzhaut gelangen. Es wird also hier, gleichwie in den anderen Fällen, das Bildchen *p'* projicirt, und ein solches Spiegelchen kann bei einem Mikroskope gleichwie eine *Camera lucida* benutzt werden.

Oberhäuser hat auch hier das Princip der totalen Reflexion mit Vortheil benutzt, und das Spiegelchen mit einem sehr kleinen rechtwinkeligen Prisma vertauscht. Es erhellt dies aus Fig. 82, wo *a* der Durchschnitt des Prisma ist. Die reflectirende Hypothenusenfläche ist hier ebenfalls kleiner als die Pupille, die Wirkung und die Anwendung im Uebrigen auch ganz gleich wie beim **Sömmerring'schen** Spiegelchen, und somit findet das über den Gang der Strahlen Gesagte auch hier vollkommene Anwendung.

Würde man in der eben beschriebenen Einrichtung, gemäss der in Fig. 79 gegebenen Darstellung, noch ein rechtwinkeliges Prisma an-

Digitized by Google

bringen, wodurch die von der Bleifeder oder von einem anderen Gegenstande ausgehenden Strahlen unter einem rechten Winkel zweimal reflec-

Fig. 81.



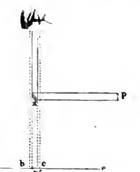
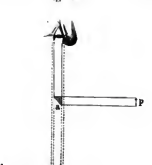
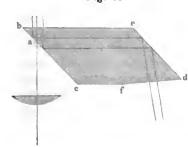


Fig. 82.



tirt werden, so müsste offenbar dieser Gegenstand sowohl als das Gesichtsfeld des Mikroskopes gleichzeitig in verticaler Richtung gesehen werden. Das hat Nachet auf die in Fig. 83 dargestellte Weise ausgeführt. Das kleine Prisma *a* ist mit dem grossen Prisma *bcde* in Verbindung gebracht, und im letzteren findet diese doppelte Reflexion statt. An der Unterfläche ist aber die Strecke von *f* bis *d* in etwas schiefer Richtung abgeschliffen, die Strahlen fallen deshalb hier etwas schief ein und die zeichnende Hand rückt etwas vom Fusse des Mikroskopes weg.

Fig. 83

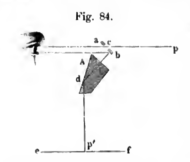


Noch eine andere Einrichtung ist hier zu erwähnen, die zuerst von Amici angewendet wurde und im Principe zwar von der vorigen etwas abweicht, aber doch vollkommen das nämliche Ziel erstrebt. Sie ist Fig. 84 (s. f. S.) dargestellt, und besteht aus einem rechtwinkeligen gläsernen Prisma, sowie aus einem runden durchbohrten Spiegelchen, dessen Durchschnitt in *ab* dargestellt ist. Das Spiegelchen bildet mit der Axe des Mikroskopes einen Winkel von 45°. Der obere Rand des Prisma und der untere des Spiegelchens greifen etwas über einander. Das Prisma ist aber dergestalt angebracht, dass ein Strahl, welcher von einem in der Fläche *ef* gelegenen Punkte *p'* kommt, bei *d* eine totale Reflexion erleidet, dann wiederum durch das Spiegelchen nach dem Auge reflectirt wird 183



und durch die Pupille tritt, zugleich mit jenem Strahle in der optischen Axe, der von p durch die Oeffnung c im Spiegelchen geht.

Fig. 84.



Diese Vorrichtung unterscheidet sich darin von der vorigen, dass das Auge durch die Oeffnung des Spiegelchens unmittelbar das Gesichtsfeld des Mikroskopcs übersieht. Eine Projection der wahrgenommenen Bilder findet also nicht statt, aher die in der Fläche *ef* befindlichen Objecte, die Hand des Zeichners, das Papier u. s. w. werden auf das Gesichtsfeld projicirt. So wird das Endziel, beide zu gleicher Zeit in der nämlichen Fläche zu sehen, ebenfalls erreicht, und dabei bietet diese Einrichtung noch den Vortheil, dass man bequemer in einer sitzenden Stellung arbeiten kann.

184 Die Anwendung dieser und ähnlicher Apparate, die noch im dritten Bande beschrieben werden sollen, erfordert einige Vorsichtsmaassregeln, wenn die Wirkung möglichst vollkommen ausfallen soll. Wenn ich weiterhin vom Zeichnen und Messen mikroskopischer Objecte im Besonderen handeln werde, soll auch auf jene Vorkehrungen aufmerksam gemacht werden, welche für diese bestimmten Zwecke zu treffen sind. Hier sei nur soviel bemerkt, dass die Fläche, auf welche das Bild projicirt wird, immer nur wenig Licht zu reflectiren braucht, damit die Pupillaröffnung möglichst gross ist. Findet also die Projection auf ein darunter liegendes weisses Papier statt, so muss man mit der Hand oder durch einen anderen Gegenstand einen Schatten darauf fallen lassen. Eine schwarz gefärbte Oberfläche, z. B. von einer Schiefertafel, entspricht im Allgemeinen am besten, und da man darauf zugleich mit einem Griffel zeichnen kann, so wende ich dieselbe vorzugsweise an.

185 Endlich glaube ich hier noch ein Verfahren erwähnen zu müssen, wodurch zwar die Richtung der Strahlen keine Veränderung erleidet, wodurch man aber ziemlich den nämlichen Zweck erreicht, wie durch die bereits angegebenen katoptrischen Hülfsmittel, nämlich das Projiciren der Bilder, welche von dem einen Auge wahrgenommen werden, auf jene Bilder, welche das andere Auge sieht. Man nennt dies das **Doppelsehen**. Hält man einen undurchsichtigen Gegenstand, einen Finger z. B., in einiger Entfernung vor das eine Auge, so dass dadurch ein etwas entfernter Gegenstand diesem Auge verdeckt wird, so wird man ihn noch mit dem zweiten Auge gewahren, und bei einer bestimmten Richtung des letzteren wird es den Anschein haben, als sähe man den

Gegenstand durch den Finger hindurch. Bei einiger Uebung wird man so etwas auch durchs Mikroskop sehen. Beobachtet man mit einem Auge das Object im Gesichtsfelde und blickt man mit dem anderen auf einen zur Seite des Mikroskopes befindlichen Körper, z. B. auf einen Bleistift, einen Cirkel u. s. w., so werden sich diese Körper zugleich mit dem Objecte im Gesichtsfelde zu zeigen scheinen. Schaut man z. B. mit dem linken Auge ins Mikroskop, und es befindet sich auf dessen rechter Seite ein Stück Papier, dann sind Gesichtsfeld und Papier auf einander projicirt, und auf letzterem wird man die Umrisse der Bilder zeichnen können, die sich im ersteren befinden.

Dieses Doppelsehen erfordert allerdings einige Uebung. Man kann sich aber dieses Verfahren bald aneignen, und ich kann es angehenden Beobachtern nicht genug empfehlen, einmal deshalb, weil Bilder dadurch auf die einfachste Weise projicirt werden, und dann auch deshalb, weil nur bei diesem Verfahren durchaus kein Licht verloren geht. Besonders der letztgenannte Vortheil ist sehr erheblich; denn bei allen früher erwähnten Methoden ist man, wenn die Vergrösserungen nur irgend bedeutend sind, genöthigt, die Objecte stark zu beleuchten, und dadurch wird die Wahrnehmung ihrer feinsten Bestandtheile sehr beeinträchtigt. Beim Doppelsehen braucht man sich darum nicht zu sorgen; die einzige Vorkehrung, um die Illusion vollständiger zu machen, besteht darin, dass man der Oberfläche, auf welche das Bild projicirt werden soll, gern eine Färbung ertheilt, die möglichst mit jener des Gesichtsfeldes übereinstimmt. Verschiedenfarbiges Papier, das man auf den Objecttisch legt, entspricht diesem Vorhaben am besten.

Sechstes Kapitel.

Mittel zur Theilung der Strahlenbündel. Multoculäre Mikroskope.

In zweifacher Hinsicht kann es wichtig sein, Mittel zu besitzen, wo- 186
durch man die Strahlenbündel, welche von einem Objecte ausgehen, in zwei oder mehr Büschel trennt, deren jedes ein Bild für sich hervorbringt, das man durch ein besonderes Ocular vergrössert wahrnehmen kann. Zuvörderst kann dann das nämliche mikroskopische Object von mehr denn Einem Beobachter auf Einmal angeschaut werden, zweitens aber wird der einzelne Beobachter, der mit beiden Augen durch zwei Oculare sieht, wodurch er vollkommen gleiche Bilder des vergrösserten Objectes empfängt, durch die Vereinigung beider Gesichtseindrücke zu einem Ge-

sammteindrucke eine Vorstellung von der körperlichen Form der Objecte bekommen, die ihm, wenn er nur mit Einem Auge darauf blickt, aus bekannten Gründen nicht zu Theil werden kann.

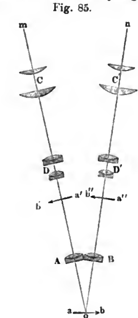
Schon vor längerer Zeit haben sich Einzelne von den erheblichen daraus erwachsenden Vortheilen überzeugt. Der früheren hierauf gerichteten Bestrebungen wird im dritten Bande Erwähnung geschehen. Hier will ich nur soviel andeuten, dass man zwei Mikroskope zu vereinigen strebte, deren Objectivgläser in schiefer Richtung dem nämlichen Objecte zugekehrt werden, während die wechselseitige Distanz ihrer Oculare der Distanz zwischen beiden Augen des Beobachters entspricht. Es versteht sich von selbst, dass diese Einrichtung nur für Objective von verhältnissmässig grosser Brennweite passt und deshalb nur in beschränktem Maasse anwendbar ist. Auch hatten die ersten Versuche keinen nachhaltigen Erfolg, und erst neuerer Zeit haben Riddell (*American Journ. of Sc. and Arts* 1853, June p. 266) in Amerika, Nachet in Frankreich, Wenham (*Quarterly Journ. of microscop. Science* 1853, *Oct.* Nr. V. *Transact.* p. 10, *July* 1860, Nr. XXXII, *Transact.* p. 154; *January* 1861 *New Series* Nr. I, *Transact.* p. 15; *April* 1861 *New Series* Nr. II, *Journ.* p. 109) in England, und R. B. Tolles (*American Journ. of Sc. and Arts* 1865, *March* p. 212) in Nordamerika Mittel ersonnen und in Ausführung gebracht, wodurch das vorgesteckte Ziel auf eine weit vollkommenere Weise erreicht werden kann. Ohne mich an die Zeitfolge zu binden, in welcher die verschiedenen darauf berechneten Methoden erfunden und bekannt gemacht wurden, will ich sie hier nach einander vom theoretischen Standpunkte aus prüfen und auch jene mit aufnehmen, die ich selbst mit mehr oder weniger glücklichem Erfolge versucht habe.

187 An die früheren bereits angedeuteten Bestrebungen reiht sich zunächst das folgende Verfahren an.

Werden zwei ganz gleiche aplanatische Linsen oder Linsensysteme A und B (Fig. 85) dergestalt neben einander gestellt, dass ihre Axen einen gewissen Winkel mit einander bilden, dann werden von einem daruuter liegenden Objecte hinter oder über den beiden Linsen zwei Bilder $a'b'$ und $a''b''$ entstehen. Jedes dieser Bilder wird gleich gross wie das Object sein, wenn die Linsen um die doppelte Brennweite davon entfernt sind. Betrachtet man diese Bilder durch zwei zusammengesetzte Mikroskope, woran C und C' die Oculare, D und D' die Objective darstellen, so kann man, indem man dem Rohre derselben die gehörige Länge giebt und den Winkel *mon* der Convergenz der Augenaxen anpasst, mit beiden Augen zugleich auf den nämlichen mikroskopischen Gegenstand blicken. Wären nun die Bilder $a'b'$ und $a''b''$ so rein und scharf, dass man annehmen dürfte, sie vergegenwärtigten das Object ab selbst, dann könnte man bei beiden Mikroskopen Objectivsysteme von

kurzer Brennweite nehmen, wie es beim gewöhnlichen zusammengesetzten Mikroskope zu geschehen pflegt. Wir sind aber noch weit davon entfernt, dass unsere jetzigen aplanatischen Linsen und Linsensysteme die Objecte in solcher Weise darstellen und dass man hoffen dürfte, auf diesem Wege das Ziel zu erreichen. Selbst dann, wenn man zur Erzeugung der Bilder Linsensysteme benutzt, die eine ziemlich lange Brennweite von 1 bis 2 Centimeter haben, ist der Unterschied zwischen den Bildern und dem Objecte zu Folge einiger Versuche, die ich ausdrücklich darüber angestellt habe, zu gross. Es lässt sich daher dieses Mittel nicht mit Erfolg zur Darstellung binoculärer Mikroskope verwenden, und das ist um so mehr zu bedauern, weil eine solche Einrichtung besser als irgend eine andere den Anforderungen des wirklichen stereoskopischen Anschauens mikroskopischer Objecte scheint entsprechen zu müssen. Vielleicht können spätere Verbesserungen in der Anfertigung von Linsen eher in dieser Richtung zum Ziele führen.

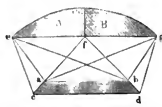
Fig. 85.



Ehe ich weiter gehe, wird es nöthig sein, im Allgemeinen über die Theorie jener binoculären Mikroskope zu sprechen, wobei das von einem Objecte ausgehende Strahlenbündel in zwei gespalten wird, deren jedes ein eigenes Bild erzeugt. Es ist dies um so nöthiger, damit man den Grund und die Bedingnngen kenne, weshalb die körperliche Form der Objecte in diesem Falle einigermaassen anders zu sein scheint, als wenn man mit blossem Ange durch ein gewöhnliches Stereoskop sieht.

In Fig. 86 sollen *A* und *B* die beiden Hälften einer Linse vorstellen und *abcd* soll ein Object von einer bestimmten Dicke sein. Die beiden Linsenhälften werden dann von der ganzen Fläche *ab* Strahlen bekommen. Von der Seite *ac* werden keine Strahlen zur Hälfte *B* gelangen, wohl aber zur Hälfte *A*, und umgekehrt empfängt *B* allein jene Strahlen, welche von *bd* ausgehen. Wenn also auch die besonderen Bilder eines mikroskopischen Objectes, welche durch die einzelnen Theile

Fig. 86.



einer Linse erzeugt werden, grösstentheils einander gleich sind, und wenn namentlich in beiden alle jene Strahlen enthalten sind, welche von der gerade im Focus liegenden Oberfläche ausgehen, so verhält es sich doch anders mit den Rändern, also mit jenen Theilen des Objectes, woran man dessen Körperlichkeit erkennt. Dem Bilde fehlt immer jener Theil, von welchem keine Strahlen zum Linsenabschnitte gelangen, um das Bild zu formen. Betrachten nun beide Augen zu gleicher Zeit die zwei verschiedenen Bilder, deren jedes durch eine Linsenhälfte entstanden ist, dann werden diese bei gehöriger Convergenz der Augenaxen auf einander projicirt und zu einem Gesammtbilde vereinigt werden, woran die Merkmale der Körperlichkeit, nämlich Höhe und Tiefe, in höherem Maasse vorkommen als an jedem der beiden Bilder für sich. Man könnte hier vielleicht den Einwurf erheben, dass in jenem Bilde, welches durch die ganze Linse hervorgebracht wird, bereits alle Theile enthalten sein müssen, welche dem einzelnen Bilde angehörig sind, und dass man daher schon mit Einem Auge ein mikroskopisches Object stereoskopisch sehen sollte, was doch nicht der Fall ist. Man halte jedoch fest, dass das Projiciren der Bilder auf einander eine active Handlung ist, die sich dem Bewusstsein durch deutlichere Wahrnehmung der Körperlichkeit des Objectes offenbart, und insofern dem stereoskopischen Sehen mit beiden unbewaffneten Augen entspricht, wo der nämliche Gegenstand durch jedes Auge in einer etwas verschiedenartigen Richtung gesehen wird, beiderlei Wahrnehmungen aber zu einer einzigen zusammenschmelzen und den Eindruck des Körperlichen machen.

In Fig. 86 ist freilich der extreme Fall dargestellt, dass in den durch jede der beiden Linsenhälften geformten Bildern die eine Seitenkante des Objectes unsichtbar bleibt. So viel ist aber klar, dass eine solche Verschiedenheit, wenn auch in geringerem Grade, an jedem körperlichen Objecte auftreten muss, sobald die von ihm ausgehenden und die Linse treffenden Strahlenbündel in zwei Hälften gespalten werden. Bei auffallendem Lichte werden die Schatten in beiden Bildern etwas anders fallen, und bei durchfallendem Lichte vertheilen sich die dunkeln und hellen Partien nicht übereinstimmend; betrachtet man daher beide Bilder zusammen gleichzeitig mit beiden Augen, so muss ein ähnlicher Effect herauskommen, als wenn man zwei Stereoskoptafeln durch ein Stereoskop betrachtet.

Hierbei kommt jedoch noch ein Verhältniss vor, wovon beim gewöhnlichen Stereoskope keine Rede ist: die Bilder im zusammengesetzten Mikroskope sind verkehrt, so dass das Rechts des Objectes linker Seits liegt und umgekehrt. Spaltet man daher die von einem Objecte kommenden Strahlenbündel in zwei Hälften, deren jede ein Bild giebt, so werden an dem aus der Vereinigung beider Bilder hervorgehenden stereoskopischen Bilde die Schatten gerade die umgekehrte Lage einnehmen, als an

Digitized by Google

dem Objecte selbst. Bei der Beurtheilung der Körperlichkeit eines Objectes lassen wir uns aber hauptsächlich durch die Vertheilung von Licht und Schatten leiten, und die bildumkehrende Wirkung des Mikroskopes hat daher zur Folge, dass gewölbte Objecte als vertieft sich darstellen und umgekehrt. Diese Erscheinung hat man als Pseudoskopie bezeichnet. Bei der im vorigen Paragraph beschriebenen Einrichtung fällt dieselbe aus, weil da die Bilder eine doppelte Umkehrung erfahren. Aber auch bei jenen Bildern, denen eine Spaltung der Strahlenbündel oberhalb des Objectives zu Grunde liegt, lässt sich der Fehler im Allgemeinen dadurch beseitigen, dass man die von den beiden Objecthälften kommenden Strahlenbündel zur Kreuzung bringt, damit die Strahlenbündel der rechten Hälfte vom linken Auge, jene der linken Hälfte vom rechten Auge aufgenommen werden. Wie dies auf verschiedene Weise ausführbar ist, soll weiterhin angegeben werden.

Die erzielte Spaltung der vom Objecte ausgehenden Strahlenbündel 189
ist auf mehrfache Art zu erreichen. Nach einem Verfahren, welches gleichsam die Mitte hält zwischen dem bereits beschriebenen und dem folgenden, kann man das Objectiv durch einen senkrechten, seine Mitte treffenden Schnitt in zwei Hälften theilen. So lange diese beiden Hälften sich noch in der ursprünglichen Lage berühren, wird nur ein einziges Bild entstehen; verschiebt man aber beide Hälften, oder neigen dieselben unter einem bestimmten Winkel gegen einander, dann erhält man durch jede Objectivhälfte ein besonderes Bild, und die beiden Bilder können möglicher Weise dergestalt aus einander weichen, dass man jedes durch ein besonderes Ocular zu betrachten im Stande ist.

Obgleich diese Spaltung des Objectives in zwei Hälften, wie wir später sehen werden, für einzelne bestimmte Zwecke eine nützliche Anwendung gefunden hat, so ist doch nicht zu erwarten, dass man jemals davon Gebrauch machen werde beim Anfertigen binoculärer Mikroskope mit einigermaassen stark vergrössernden Linsensystemen. Die praktische Ausführung muss an der Schwierigkeit scheitern, so kleine Linsen, wie die unserer gegenwärtigen Objectivsysteme, zu durchschneiden; auch müssten diese Hälften ausserdem noch ganz genau unter einander centrirt sein.

Das richtige Mittel zur Erreichung des erstrebten Ziels bietet sich 190
darin dar, dass man das Strahlenbündel nach dem Eintritte ins Mikroskop zwingt, sich in zwei Bündel zu spalten, deren eines nach rechts, das andere nach links geht, so dass jedes für sich ein gesondertes Bild giebt, welches durch ein besonderes Ocular aufgenommen werden kann.

Das lässt sich auf dioptrischem und auf katoptrischem Wege erreichen. Wir wollen nach einander beide Wege betreten, und den Werth

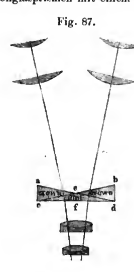
der verschiedenen Einrichtungen von theoretischer und praktischer Seite würdigen.

191 Die dioptrischen Mittel, obwohl sie später in Gebrauch gezogen worden sind, will ich zunächst berücksichtigen.

Betrachtet man ein Object durch ein mit Facetten versehenes Glas, so gewahrt man eben so viele Bilder als Facetten da sind. Jede Facette wirkt nämlich wie ein Prisma und lenkt den vom Objecte darauf fallenden Theil der Strahlen ab. Wird daher irgendwo über dem Objective eines zusammengesetzten Mikroskopes eine Vereinigung von Prismen dergestalt an einander gefügt, dass die Kanten der brechenden Winkel nach innen gekehrt sind, dann muss sich das Strahlenbündel, welches aus dem Objectiv kommt, in eben so viele bildformende gesonderte Strahlenbündel theilen, als brechende Oberflächen da sind.

Bevor indessen die getrennten Bilder der mikroskopischen Wahrnehmung zugänglich werden, ist noch ein Haupthinderniss aus dem Wege zu räumen. Jene durch Strahlenbrechung entstandenen Bilder nämlich werden von den Farben des Spectrums umsäumt und deshalb fehlt ihnen ganz und gar die Bestimmtheit der Contouren, die zu einer genauen Beobachtung unerlässlich ist. Wenham, der zur Herstellung eines binoculären Mikroskopes dieses Mittel zuerst in Anwendung brachte, hat dieser Unvollkommenheit auf folgende Weise abgeholfen. Er setzte zwei Kronglasprismen mit einem Flintglasprisma auf die Weise wie in Fig. 87 mit einander in Verbindung, und brachte Canadabalsam zwischen die Oberflächen der Prismen. Aus dem Früheren (§. 59) erhellt, dass der Achromatismus der Bilder nicht gestört werden wird, wenn zwischen den Brechungswinkeln beider Arten von Prismen und dem Dispersionsvermögen des Glases, woraus sie bereitet sind, ein gehöriges Verhältniss besteht. Man ersieht aber auch aus der Figur, dass man sich die ganze Combination eigentlich als zwei an einander gefügte Doppelprismen (*ae* und *fc* das eine, *be* und *fd* das andere) denken kann, deren jedes die Hälfte der divergent aus dem Objective kommenden Strahlen empfängt und in schiefer Richtung nach oben leitet. Hier treffen dann die Strahlen auf die beiden Oculare, deren Axen natürlich mit den Axen der Strahlenkegel zusammenfallen

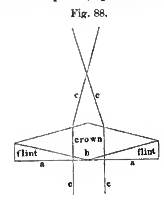
Fig. 87.



und sich in einer entsprechenden schiefen Stellung befinden müssen. Der Winkel, den die Axen beider Strahlenkegel mit einander bilden, hängt einerseits von der Form der Prismen ab, andererseits vom Brechungsindex der benutzten Glassorten. Im Allgemeinen darf man annehmen, dass dieser Winkel 15° bis 18° betragen muss, um der gewöhnlichen Richtung der Augenaxen zu entsprechen. Um der Ungleichheit in der Entfernung beider Augen bei verschiedenen Personen Rechnung zu tragen, sollte jedes der beiden Ocnlare in ein besonderes Rohr eingesetzt sein, das in einem anderen weiteren Rohre sich auf- und abschieben lässt. Bei grösserer Distanz beider Augen müsste aber die Entfernung der Oculare und des Objectives von einander zunehmen, bei kleinerer Entfernung müsste sie abnehmen.

Der so hergerichtete Apparat ist aber freilich mit Pseudoskopie behaftet. Zu deren Verbesserung hat Wenham (*Quart. Journ.* XXXII, *Transact.* p. 154) späterhin die in Fig. 88 dargestellte Combination erfunden und ausgeführt. Dadurch wird, wie man sogleich herausfindet, die Kreuzung des rechtsseitigen und linksseitigen Strahlenbündels zu Stande gebracht und die Pseudoskopie aufgehoben.

Fig. 88.



Eine solche Spaltung der Strahlen durch dioptrische Mittel hat darin einen Vorzug, dass das Prisma sehr dünn sein kann, wo dann auch nur eine sehr geringe Absorption der Lichtstrahlen stattfindet. Wenham's letztes Prisma ist nur 0,096 engl. Zoll oder 2,4 Millim. dick. An so kleinen Prismen lassen sich aber freilich auch sehr schwer vollkommen ebene Flächen schleifen. Ausserdem ist auch wohl niemals eine vollständige Beseitigung der chromatischen Aberration durch die Combination von Flintglas- und Kronglasprismen zu erlangen.

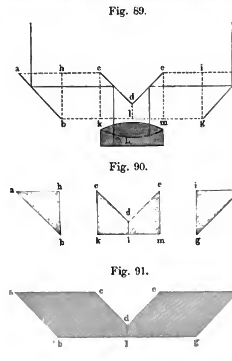
Wenham selbst hat den besten Beweis dafür geliefert, dass die dioptrische Methode der katoptrischen nachsteht, insofern er für seine späteren binoculären Mikroskope die katoptrische Einrichtung gewählt hat.

Eine Spaltung der Strahlenbündel auf katoptrischem Wege lässt sich auf verschiedene Art zu Stande bringen. 192

1) Man bewirkt (Fig. 89 a. f. S.) zwei Reflexionen durch vier spiegelnde Oberflächen cd und ab, ed und fg, die abwechselnd so gestellt werden, dass sie mit der Axe des Objectives L Winkel von 45° und 135° bilden, also zwei und zwei einander parallel sind. Alsdann werden die Axen

der beiden reflectirten Strahlenkegel mit der Axe des ursprünglichen Strahlenkegels parallel bleiben, und ihr gegenseitiger Abstand wird von jenem der Spiegelflächen *ab* und *fg* abhängen.

Man kann dieses Ziel, wie es Riddell zuerst gethan hat, dadurch erreichen, dass man vier rechtwinkelige Glasprismen *abh* und *ckld*, *dlme* und *igf* (Fig. 89 und Fig. 90) benutzt, von denen die beiden mittleren, des besseren Aneinanderschliessens wegen, an den Kanten senkrecht abgeschliffen sind.



2) Statt der vier rechtwinkeligen Prismen braucht man auch blos zwei rautenförmige, *abldc* und *edlgf* (Fig. 91), zu nehmen, die offenbar den nämlichen Zweck erfüllen.

3) Man kann aber auch ein einzelnes Stück Glas benutzen, welches in der nämlichen Form geschliffen wird.

Wo der gegenseitige Abstand der reflectirenden Oberflächen veränderlich sein muss, wie in den eigentlichen binoculären Mikroskopen, da wird die Anwendung von vier freien Prismen den Vorzug verdienen; wo aber dieser Abstand immer unverändert bleiben kann, wie bei einem Mikroskope, wodurch zwei Beobachter gleichzeitig sehen sollen, da ist eine der beiden auderen Formen vorzuziehen, weil man alsdann weniger Licht durch die wiederholte Reflexion verliert.

Man branchte auch nur zwei rechtwinkelige Prismen (Fig. 92) so zu stellen, dass ihre Hypothenusenflächen einen mehr oder weniger spitzen Winkel mit einander bilden: die Strahlen werden dann in zwei neuen Richtungen reflectirt werden. Für ein binoculäres Mikroskop ist indessen diese Einrichtung schon deshalb weniger passend, weil die Prismen wegen der geforderten schiefen Stellung ungemein gross sein müssten, um alle Strahlen aufzufangen und zu reflectiren, und dazu

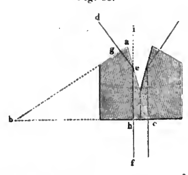
kommt noch, dass wegen des schiefen Lichteinfalls ein nicht ganz unerheblicher Antheil durch Reflexion verloren gehen würde.

Fig. 92.



Jedenfalls verdienen solche Prismen den Vorzug, deren für den Ein- und Austritt der Strahlen bestimmte Flächen senkrecht auf der Axe der Strahlenbündel stehen. Bei einem Mikroskope, durch welches zwei Beobachter gleichzeitig sehen sollen, scheint mir jene in Fig. 93 im Durchschnitte dargestellte Form der Prismen den Vorzug zu verdienen, da man hierbei nur eine einzige Reflexion in jedem Prisma hat, und der Winkel, unter welchem die Strahlen reflectirt werden, ein solcher ist, dass der Kopf beim Durchsehen durch das Mikroskop eine bequeme, etwas vorn übergeneigte Stellung einnehmen kann. Man würde sogar durch noch mehr verminderte Neigung der Spiegelflächen den Winkel, unter welchem die Strahlen mit dem Einfallslothe austreten, so weit verkleinern können, dass eine solche Einrichtung in einem stereoskopischen Mikroskope zu gebrauchen wäre. Die Röhren eines solchen Instrumentes bekämen aber eine übermässige Länge, und deshalb ist eine solche Einrichtung, die überdies auch pseudoskopisch sein würde, doch weniger benutzbar.

Fig. 93.



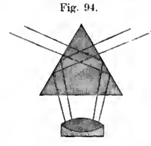
Uebrigens unterscheidet sich diese Einrichtung noch in einer Beziehung von der zuerst erwähnten: bei der wiederholten Reflexion der Strahlen in der nämlichen Ebene erleidet die relative Stellung der Theile, aus denen das umgekehrte Bild zusammengesetzt ist, keine Veränderung, während dagegen eine einzige Reflexion eine halbe Umkehrung zur Folge hat. Indessen ist dieses nur von geringer Bedeutung für die Beobachtung.

Betrachtet man Fig. 93, so sieht man auf der Stelle, dass die beiden an einander gelegten Prismen, wenn sie die Strahlen unverändert ohne Farbenzerstreuung durchgehen lassen sollen, Theile eines gleichschenkeligen dreiseitigen Prisma *abc* sein müssen, woran die Neigungswinkel *a* und *c* einander gleich sind, und *ac* oder die Basis des Prisma den Durchschnitt der reflectirenden Fläche darstellt. Der Winkel, welchen der reflectirte Strahl mit der Spiegelfläche bildet, ergänzt die Winkel *a* und *c* immer auf 90⁰. Denn da die Winkel *ega* und *ehc* rechte Winkel

sind, und *gae* = *ech* ist, so ist der Winkel *a* oder *c* auch = 90° — *gea* oder *hec*. Der Winkel *dei*, den der reflectirte Strahl *ed* mit der Verlängerung des einfallenden Strahls *ef* bildet, ist dem Winkel bei *b* gleich. Denn in dem Vierecke *gbhe* sind die Winkel *egb* und *ehb* rechte, und somit ist die Summe der beiden anderen *geh* + *gbh* = 180°; da aber *geh* + *dei* ebenfalls = 180°, so müssen die Winkel *dei* und *gbh* einander gleich sein. In dem Maasse nun, als der Reflexionswinkel *geh* grösser wird, werden auch die Winkel *a* und *c* an Grösse zunehmen müssen und der Winkel *b* wird sich verkleinern. Man hat es so ganz in seiner Gewalt, den Strahlen alle gewünschten Richtungen zu geben durch veränderte Gestaltung der Prismen, wenn ihre Durchschnitte nur immer gleichschenkelige Dreiecke oder Theile derselben sind.

Unter diesen verschiedenen Prismenformen giebt es aber eine, die sich durch eine besondere Eigenschaft auszeichnet, jene nämlich, wo der Durchschnitt des Prisma nicht blos gleichschenkelig, sondern auch gleichseitig ist. Da alle Winkel dann 60° haben, so müssen bei einem solchen Prisma die Strahlen unter einem Winkel von 30° mit der reflectirenden Oberfläche, oder von 60° mit dem Perpendikel reflectirt werden. Zugleich folgt aber auch aus dem bereits Angeführten, dass man ein solches Prisma als aus zwei gleichschenkeligen dreiseitigen Prismen zusammengesetzt ansehen kann, an denen die aufwärts gerichteten Seiten gleichzeitig als Spiegelflächen wirken können. Wenn ein einzelnes so geformtes Prisma, wie in Fig. 94, über ein Objectiv kommt, so vermag es das aus dem Objective tretende Strahlenbündel zu spalten, und man erreicht damit also gleich gut das Hauptziel, als wenn man zwei Prismen von anderer Form mit einander vereinigt. Das Hauptverdienst dieser Einrichtung, die wir Nachet verdanken, besteht also in der Einfachheit. Denn es wäre ein Irrthum, wenn man einen anderen Vortheil darin suchte, dass ein geringerer Verlust an Licht einträte, als bei zwei combinirten Prismen, weil die mittleren Strahlen, welche an der Stelle der Vereinigung in mehr oder weniger starkem Maasse reflectirt werden, in diesem Falle ungehindert durchgehen. Das verhält sich freilich so; aber wie die Vereinigungsebene zweier Prismen, so wirkt an einem einzelnen gleichseitigen dreieckigen Prisma der obere Rand. Es mag diese Kante noch so scharf geschliffen sein, immer werden einige der durch die Mitte des Prisma gehenden Strahlen dort zurückgehalten werden.

Fig. 94.

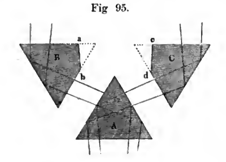


Durch Ein solches Prisma über dem Objective hat man also schon ein

Mikroskop, wodurch gleichzeitig zwei Beobachter sehen können. Da aber der Kopf dabei eine etwas beschwerliche Haltung bekäme, so kann auch auf der Bahn der Strahlen zu beiden Seiten noch ein zweites Prisma angebracht werden, wodurch die Richtung der Strahlen eine bessere wird. Giebt man jedem dieser zugefügten Prismen eine solche Stellung, dass die Reflexionsebene mit jener des unteren Prisma einen Winkel von 90° bildet, dann ist das Bild auch ganz in die gerade Lage gebracht, weil jede der beiden Reflexionen eine halbe Umkehrung bewirkt hat.

Bei einem stereoskopischen Mikroskope kann man nach Nachet (Fig. 95) drei gleichgrosse gleichseitige dreieckige Prismen benutzen, von denen die beiden seitlichen *B* und *C* bestimmt sind, die Strahlen in senkrechter Richtung nach oben zu jedem der beiden Augen zu bringen. Vortheilhafter ist es aber vielleicht, wenn man diesen seitlichen Prismen eine schwache Neigung giebt, welche der Convergenz der Augenaxen entsprechend ist. Da ferner die oberen und inneren Flächen dieser Prismen sich nicht vollständig an der Durchlassung der Strahlen betheiligen, so kann man an jedem Prisma einen Theil der einwärts gerichteten Kante, etwa bis zu den Linien *ab* und *cd*, ohne Schaden wegnehmen; es wird dadurch der Vortheil erreicht, dass die über den Prismen *B* und *C* befindlichen Rohre nicht ungebührlich weit zu sein brauchen. Endlich versteht es sich von selbst, dass der Apparat eine solche Einrichtung haben muss, um den wechselseitigen Abstand beider Prismen und damit auch der Ocularrohre auf eine der relativen Augendistanz verschiedener Beobachter entsprechende Weise abändern zu können.

Fig 95.

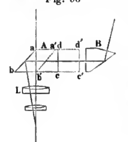


Es erfreut sich diese katoptrische Einrichtung vor den bisher betrachteten des Vorzugs, dass bereits in dem mittlern Prisma die Kreuzung der rechts- und linksseitigen Strahlenbündel erfolgt, und somit, wenn sie beim stereoskopischen Mikroskope in Anwendung kommt, die Pseudoskopie beseitigt wird.

Eine noch andere Einrichtung des stereoskopischen binocularen Mikroskopes, ebenfalls nach Nachet, ist in Fig. 96 (a. f. S.) dargestellt. Es gehören dazu die beiden Prismen *A* und *B*. Das Prisma *A* kommt über das Objectiv und ist in der Weise verschiebbar, dass es aus der Stellung *abcd* in

die Stellung $a'b'c'd'$ kommen kann. Bei der erstgenannten Stellung werden jene Strahlen, welche durch die linke Hälfte des Objectives getreten sind, an der Fläche ab reflectirt und erfahren in dem Prisma B eine zweite Reflexion, wodurch sie dem rechten Auge zugeführt werden, während das linke Auge durch den von parallelen Flächen begrenzten Theil des Prisma nach der rechten Hälfte des Objectives hinsieht. Bei dieser Stellung findet also die zur Beseitigung der Pseudoskopie erforderte Kreuzung statt. Kommt dagegen das Prisma A in die Stellung $a'b'c'd'$, dann ist die linke Hälfte des Objectives unbedeckt und das linke Auge empfängt die Strahlenbündel unmittelbar von daher, d. h. ohne vorgängige Kreuzung, und somit findet Pseudoskopie statt.

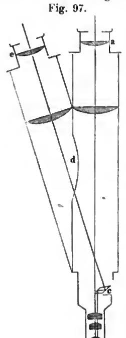
Fig. 96



Einrichtung des stereoskopischen Mikroskopes von Nachet.

Selbstverständlich wäre es für die mikroskopische Beobachtung ganz ausreichend, wenn das Prisma in der erstgenannten Stellung feststände; durch dessen Beweglichkeit wird aber das Mikroskop in ein optisch-physikalisches Instrument umgewandelt, womit man die Erscheinungen der Pseudoskopie und die Art ihrer Beseitigung demonstriren kann. Wird endlich das Prisma A ganz weggenommen, dann hat man ein einfaches monokuläres Mikroskop.

Fig. 97.

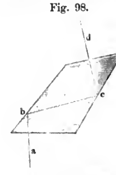


Wenham's binoculäres Mikroskop im Durchschnitte.

Auf noch einfachere und ganz zweckmässige Weise wird dieses Ziel durch eine von Wenham erfundene und 1861 bekannt gemachte Einrichtung erreicht, die jetzt bei vielen englischen Mikroskopen in Aufnahme gekommen ist. Dieselbe ist in Fig. 97 im Durchschnitte dargestellt. Es gehört dazu vor Allem das Prisma C, welches in Fig. 98 in vergrössertem Maassstabe abgebildet ist; dasselbe ist so gestaltet, dass ein auf der unteren Fläche eindringender Strahl a zweimal im b und c eine vollständige Reflexion erleidet, und an der oberen Fläche in der Richtung d heraustritt. Der austretende Strahl bildet aber mit dem ursprünglichen eintretenden Strahle einen spitzen Winkel. Dieses Prisma hat eine Hülse, so dass es durch eine vierseitige Oeffnung nahe dem unteren Ende des Mikroskoprohres eingeschoben werden kann und dann genau die eine Hälfte des Objectives deckt,

die andere Hälfte aber frei lässt. Das Mikroskoprohr hat bei *d* eine weite Oeffnung, um das halbe Strahlenbündel durchzulassen, welches vom Prisma *C* aus in dieser Richtung verläuft. Hier wird dieses Strahlenbündel durch ein zweites schief angefügtes Mikroskoprohr aufgenommen, welches jene Oeffnung *d* schliesst, und dessen Ocular *e* von der Axe des reflectirten halben Strahlenbündels gerade senkrecht getroffen wird. Blickt man nun mit beiden Augen zugleich durch die aneinandergefügten Mikroskope, so bekommt das über dem Ocular *a* befindliche Auge direct das Bild durch die unbedeckte Hälfte des Objectives, und in das andere Auge über dem Ocular *e* gelangt das Bild von der zweiten Hälfte des Objectives, dessen Strahlen zweimal reflectirt wurden und mit der andern Hälfte sich kreuzten. Dem zu Folge ist das stereoskopische Bild nicht pseudoskopisch.

Fig. 98.



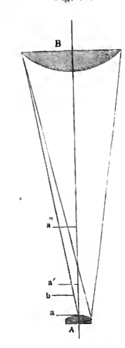
Wenham's Prisma.

Durch die zweimalige Reflexion im Prisma wird übrigens die Bahn der Strahlen etwas verlängert, und das schief aufgesetzte Mikroskoprohr müsste daher in entsprechender Weise verkürzt werden, wenn beide Bilder gleich gross sein sollen, was doch selbstverständlich für den stereoskopischen Effect durchaus nöthig ist. Dieses Ziel lässt sich aber auch dadurch erreichen, dass das schief aufgesetzte Ocular *e* etwas weniger vergrössert, und diese Einrichtung ist zweckmässiger, weil dabei die oberen Oeffnungen beider Oculare ungefähr die gleiche Höhe haben, zu grosser Bequemlichkeit des Beobachtenden. Um dem wechselnden Abstande beider Augen bei verschiedenen Individuen Rechnung zu tragen, müssen die Oculare in besonderen Röhren stecken, die in jedem der beiden Mikroskoprohre verschiebbar sind.

Mit Recht weist Wenham darauf hin, dass bei Benutzung etwas stärkerer Objective das Prisma ganz dicht über dem Objective angebracht sein muss. Das gilt aber auch in gleicher Weise von jeder anderen katoptrischen Einrichtung, wodurch das aus dem Objective tretende Strahlenbündel gespalten wird. Ist die Unterfläche des Prisma zu weit entfernt von der Oberfläche des Objectives, dann wird ein Theil des Strahlenbündels, der sonst auch ins Ocular gelangt sein würde, abgeschnitten, und ein mehr oder weniger grosser Theil des Gesichtsfeldes erscheint dunkel. Dies wird durch Fig. 99 (a. f. S.) veranschaulicht, wo *A* die oberste Linse des Objectives und *B* das Collectiv darstellt. Befindet sich die Unterfläche des Prisma in *a*, so dass sie die obere Fläche des Objectives berührt, dann empfängt das Collectiv *B* die gesammten Strahlen, welche durch die unbedeckte Hälfte des Objectives traten. Wird das Prisma höher ge-

rückt, etwa bis a', bis a'', dann wird ein Theil des Strahlenbündels abgeschnitten und erreicht das Ocular gar nicht. Nun ist es freilich praktisch nicht ausführbar, die untere Fläche des Prisma und die obere Fläche des Objectives in unmittelbare Berührung zu bringen, aber wünschenswerth bleibt es immer, dass sie einander möglichst nahe kommen. Uebrigens giebt es noch ein Mittel, wodurch dem berührten Uebelstande bei dieser Einrichtung abgeholfen werden kann: man braucht die kleine das Prisma umfassende Hülse nicht ganz bis zur Mikroskopaxe einzuschieben, so dass die scharfe Kante des Prisma, wie bei b, nur bis zum Rande jenes Strahlenbündels reicht, welches durch die unbedeckte Objectivhälfte tritt. Ein Nachtheil ist freilich auch wieder damit verknüpft, nämlich eine geringe Verschiedenheit in der Erleuchtung beider Gesichtsfelder. Das scheint Wenham auch gefunden zu haben; wenigstens hat derselbe (*Quart. Journ.* N. Ser. I. *Transact.* p. 17) die Idee ausgesprochen, es könnte ein getheilter Spiegel angebracht werden, dessen Hälften zur Beleuchtung der beiden Gesichtsfelder dienen sollten. Ob er diese Idee wirklich ausgeführt hat, ist mir unbekannt.

Fig. 99.



193 Combinirt man reflectirende Prismen in einer Horizontalebene, dann lässt sich das Strahlenbündel auch noch in eine grössere Anzahl gesonderter Büschel spalten. Um dies deutlich zu machen, betrachten wir zunächst den Fall, wo zwei solche Prismen auf die Weise wie in Fig. 100 neben einander gestellt sind. Im unteren Theile der Figur sieht man die Prismen mit einer ihrer senkrechten Seiten; darüber aber ist ihre horizontale Projection abgebildet. Die geneigten Flächen müssen dann die doppelte Länge der senkrechten haben, so dass die Vereinigung der Grundflächen ein Quadrat bildet für den kreisförmigen Durchschnitt des Strahlenkegels. Es tritt dann eine Theilung in zwei Strahlenbüschel ein. Bringt man nun drei solche Prismen in der Weise an einander, dass ihre Kanten sich berühren, so wird jedes Prisma das Nämliche leisten; dabei wird aber, wie man leicht einsieht, der ganze mittlere Theil des Lichtbündels unverändert durch den offenen dreieckigen Raum hindurchgehen, der sich solchergestalt bilden würde. Dem hat Nachet dadurch vorgebeugt, dass er die eine Hälfte an jedem Prisma so weit abschleift, dass sie, alle

Digitized by Google

zusammengefügt, ein gut schliessendes Ganzes darstellen. In Fig. 101 ist durch *aa*, *bb* und *cc* ein Prisma in seiner ursprünglichen Form angegeben; zugleich aber werden durch die punktirten Linien *ad*, *ac'*, *dc'* auf der einen und *ac'*, *ae*, *c'e* auf der anderen Seite die Umrisse der senkrechten Flächen *adc'* und *ac'e* angedeutet, bis zu denen die eine Hälfte des Prisma abgeschliffen wird. Der Winkel *dc'c* ist dann gleich 120°. Von der spiegelnden Oberfläche *acca* ist das Dreieck *ac'a* übrig geblieben,

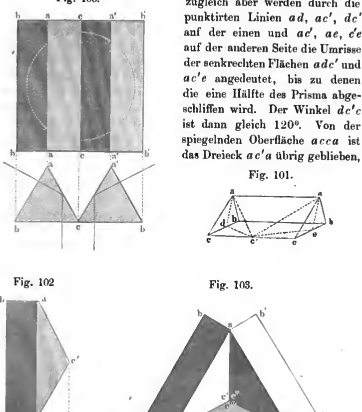


Fig. 100.

Fig. 101.

Fig. 102

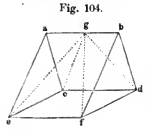
Fig. 103.

so dass das Prisma, von oben und von der Seite angesehen, wie in Fig. 102 erscheint. Die Vereinigung von drei solchen Prismen ist in Fig. 103 dargestellt. Da jeder der drei Winkel c', c'' und $c''' = 120^0$ ist, so stellt die Vereinigung der drei Prismen ein geschlossenes Ganzes dar, und zwar von oben angesehen in der Form einer dreiseitigen Hohlpyramide, an deren Seitenflächen *ac'a*, *ac''a*, *ac'''a* die Strahlenbüschel reflectirt werden; die unter einem Winkel von 60° dagegen geneigten Flächen *abba*, *ab'b'a*, *ab''b''a* aber lassen dieselben hindurchtreten.

Digitized by Google

Entspricht der Winkel c' einem anderen aliquoten Kreisabschnitte, so würde man durch Combination von dergleichen Prismen die Theilung des Strahlenbündels natürlich noch weiter treiben können. Bei einem Winkel von 90° z. B. werden vier Prismen an einander gefügt werden können und so weiter. Indessen ist man bis jetzt nicht über die Dreizahl hinaus gegangen, nur bis dahin hat Nachet die Bilder auf diesem Wege vervielfältigt. Selbstverständlich wird auch diese Spaltung keine unbegrenzte sein können, da ja mit jeder Spaltung ein entsprechender Verlust an Licht gepaart geht. Dazu kommt noch die Schwierigkeit, die Grenzflächen der verschiedenen Prismen so genau an einander zu fügen, dass dort so wenig Licht als möglich verloren geht, und diese Schwierigkeit wächst natürlich mit der Zahl der benutzten Prismen. Aus diesem Grunde habe ich bei einem Mikroskope für vier Personen, das ich mir habe anfertigen lassen, einer Einrichtung den Vorzug gegeben, die sich auch zugleich durch grössere Einfachheit empfiehlt. Man kann nämlich statt einer Vereinigung von Prismen auch eine aus Einem Glasstücke geschliffene Pyramide nehmen. Der Durchschnitt einer solchen Pyramide wird stets ein gleichseitiges Dreieck sein müssen, wie sich aus folgender Betrachtung ergieht. In Fig. 104 sei ein halh von der Seite gesehenes gleichseitiges dreikantiges Prisma dargestellt, dessen Wirkung oben geschildert wurde. Seine Grundfläche *ecdf* bildet ein regelmässiges Viereck. Gesetzt nun, von diesem Prisma werden zu heiden Seiten zwei gleich grosse Stücke abgeschnitten, so dass eine regelmässige vierseitige Pyramide mit der Grundfläche *ecdf* und der Spitze *g* übrig hleibt, so werden von der also erhaltenen Pyramide zwei Seitenflächen (*gef* und *gcd*) die übrig gebliebenen Theile der schiefen Spiegelflächen des Prisma sein und so, wie früherhin, die darauf fallenden Strahlen reflectiren und durchlassen. Da nun aher aus der Construction folgt, dass die beiden anderen einander gegenüber stehenden Flächen (*gce* und *gfd*) der Pyramide den beiden ersteren vollkommen gleichen, so findet hier das Nämliche statt, und folglich theilen sich die auf die Unterfläche einfallenden Lichtstrahlen in vier Bündel.

Fig. 104.



Was nun von einer vierseitigen Pyramide gilt, das passt eben so gut auf alle anderen Pyramiden mit einer gewissen Anzahl Seitenflächen, deren Durchschnitt ein gleichseitiges Dreieck ist. Immer werden die Strahlen, die auf einer der Flächen reflectirt werden, auf der gegenüberliegenden Fläche unverändert nach aussen treten. Theoretisch bietet also die Herstellung von Mikroskopen mit sechs, acht, zehn Ocularen

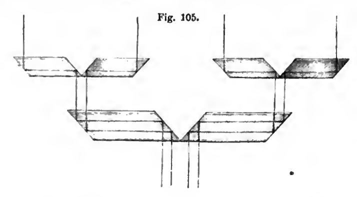
keine Schwierigkeit; nur versteht es sich von selbst, dass die praktische Ausführung bei zu grosser Vervielfältigung der Bilder alsbald auf unübersteigliche Grenzen treffen wird.

Auf eine Eigenthümlichkeit der Bilder, welche von den solchergestalt reflectirten Strahlen erzeugt werden, muss ich hier noch aufmerksam machen. Dieselben können nämlich nicht alle vollkommen gleich sein, weil die Reflexionswinkel nicht in der nämlichen Ebene liegen. Alle Bilder erleiden eine halbe Umkehrung, und da das Object unverändert seinen Platz behält, so muss die Richtung, in welcher das Bild diese halbe Umkehrung macht, mit der veränderten Richtung der Reflexion sich stets verändern. Nur die Bilder sind einander ganz gleich, welche durch gerade gegenüber liegende Spiegelflächen hervorgebracht werden. Wenn man will, kann man aber diese Ungleichheit ganz beseitigen, indem man in die Bahn der Strahlen nochmals Prismen bringt, deren Reflexionsflächen mit den ersteren Winkel von 90° bilden. Dadurch wird die ursprüngliche Richtung wiederum hergestellt, welche das Object selbst hat. Freilich wird aber hierdurch der Preis des Apparates noch mehr erhöht.

Aus allem Bisherigen ergiebt sich die Möglichkeit, die Strahlenbündel willkürlich zu vervielfachen, mag man dazu eine Vereinigung von Prismen oder eine Pyramide mit einer entsprechenden Flächenzahl anwenden, oder mag man das bereits getheilte Strahlenbündel weiterhin noch dadurch theilen, dass man die Strahlen zum zweiten Male über reflectirende Flächen vertheilt. Man sieht daher leicht ein, dass die Theilung eine beliebige Anzahl Male sich wiederholen lässt und auf mancherlei hier nicht näher zu erörternde Weisen verändert werden kann.

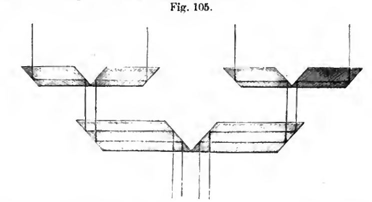
Als Beispiel erwähne ich hier blos eine solche wiederholte Theilung mittelst über einander liegender Reihen rechtwinkeliger oder entsprechender rautenförmiger Prismen, wie es Fig. 105 zeigt. Nur dürfte es bei einer solchen Combination vortheilhaft sein, wenn die Prismen der

Fig. 105.



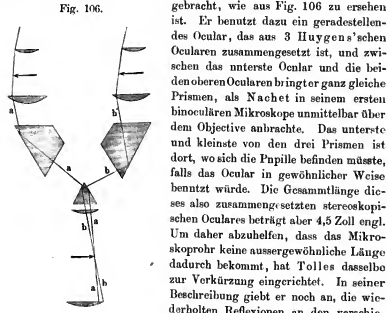
obersten Reihe rechtwinkelig über den untersten stehen, so dass die Oculare an die Eckpunkte eines Quadrats kommen.

Fig. 105.



194 Bei allen bisher besprochenen Vorrichtungen erfolgt die Spaltung des Strahlenbündels gleich oberhalb des Objectives. Man kann aber diese Spaltung auch ins Ocular verlegen, und Robert B. Tolles *(Americ. Journ. of Sc. and Arts.* 1865, p. 212) hat dies wirklich zur Ausführung gebracht, wie aus Fig. 106 zu ersehen ist. Er benutzt dazu ein geradestellendes Ocular, das aus 3 Huygens'schen Ocularen zusammengesetzt ist, und zwischen das unterste Ocular und die beiden oberen Ocularen bringt er ganz gleiche Prismen, als Nachet in seinem ersten binoculären Mikroskope unmittelbar über dem Objective anbrachte. Das unterste und kleinste von den drei Prismen ist dort, wo sich die Pupille befinden müsste, falls das Ocular in gewöhnlicher Weise benutzt würde. Die Gesammtlänge dieses also zusammengesetzten stereoskopischen Oculares beträgt aber 4,5 Zoll engl. Um daher abzuhelfen, dass das Mikroskoprohr keine aussergewöhnliche Länge dadurch bekommt, hat Tolles dasselbe zur Verkürzung eingerichtet. In seiner Beschreibung giebt er noch an, die wiederholten Reflexionen an den verschiedenen brechenden Flächen und der hierdurch bewirkte Lichtverlust würden sich reduciren lassen, wenn man

Fig. 106.



Digitized by Google

Prismen und Linsen combinirte, nämlich die den Linsen zugekehrten Flächen gewölbt schliffe. Er scheint aber diesen Plan nicht selbst zur Ausführung gebracht zu haben.

Ich will nur noch andeuten, dass in gleicher Weise das einfache Mikroskop ebenfalls in ein stereoskopisches Instrument umgewandelt werden kann, wie es auch durch Nachet zur wirklichen Ausführung gebracht worden ist.

Mikroskope, wodurch ein und dasselbe Object gleichzeitig durch 195
mehrere Augen wahrgenommen werden kann, lassen sich also auf dioptrischem sowohl als katoptrischem Wege in mehr denn einer Weise herstellen. Aber nur die Erfahrung kann darüber entscheiden, welche von den verschiedenen Methoden praktisch am besten ausführbar ist und am sichersten zum Ziele führt. Diese Erfahrung ist bis jetzt noch zu sparsam, um bereits ein Urtheil fällen zu können. Doch vermag man schon jetzt mit vieler Wahrscheinlichkeit die Sphäre abzugrenzen, innerhalb deren das Princip der Strahlenbündelspaltung sich anwenden lässt.

Ein Hauptgrund, weshalb man diese Spaltung nicht zu weit treiben darf, liegt in der verminderten Lichtstärke der Bilder. Sie ist nicht blos die nothwendige Folge der Spaltung selbst, auch beim Durchtritte durchs Glas und beim Erreichen der brechenden Oberflächen geht noch ein Theil der Strahlen verloren. Freilich kann man, indem man die Beleuchtung verstärkt, diesen Verlust zum Theil wieder ausgleichen; vollständig ist dies aber niemals möglich. Die Spaltung des Strahlenbündels, welches aus der Oeffnung einer Linse heraustritt, kommt nämlich einer Verkleinerung der Oeffnung dieser Linse gleich; wir werden aber weiterhin sehen, dass das optische Vermögen eines Mikroskopes guten Theils von der Grösse des Oeffnungswinkels der Objective abhängt. Dazu kommt noch, dass trotz aller Sorgfalt, welche auf die Bearbeitung der benutzten Prismen verwendet wird, und wenn auch die dazu verwendeten Glasmassen noch so rein und homogen sein mögen, dennoch zu besorgen steht, dieselben werden einen wenn auch geringen Einfluss auf die Nettigkeit und Schärfe der Bilder ausüben. Ueberdies muss auch aus früher (§. 29) entwickelten Gründen der Durchtritt der divergirenden Strahlen durch so dicke Glasmassen, wie hier erforderlich sind, schon an und für sich einen schädlichen Einfluss ausüben, welcher der Vergrösserung der sphärischen Aberration gleichkommt, es müssten denn die Objectivsysteme entsprechend eingerichtet sein durch eine ähnliche Modification, als beim Gebrauche dicker Deckplättchen erfordert wird.

Wo demnach das Mikroskop zur eigentlichen Untersuchung mühsam wahrnehmbarer Einzelnheiten benutzt wird, da wird man wohl niemals einem solchen den Vorzug geben, dessen optisches Vermögen in dem Maasse abnimmt, als die Bilder sich vervielfältigen. Dagegen können

solche Mikroskope, durch welche zwei, drei oder selbst vier Beobachter das nämliche Object gleichzeitig sehen, sich sehr nützlich bewähren bei Demonstrationen, namentlich solcher Gegenstände, zu deren Sichtbarmachung kein zu grosses optisches Vermögen erfordert wird. Ein solches Instrument hat in manchen Beziehungen sogar einen Vorzug vor einer gleichen Anzahl einzelner Mikroskope, weil man in der nämlichen Zeit den gleichen Gegenstand einer grösseren Anzahl von Personen zur Ansicht bringen kann, und weil der Lehrer, der gleichzeitig auch durch ein Ocular sieht, im Stande ist, nicht nur die Aufmerksamkeit auf den bestimmten Theil des Objectes zu lenken, der sich im Gesichtsfelde befindet, sondern auch durch Verschiebung des Objectträgers der Reihe nach alle verschiedenen Theile ins Gesichtsfeld zu bringen. Da der letztgenannte Umstand bei der Demonstration von grossem Gewicht ist, so erscheint es wünschenswerth, dass bei jedem derartigen Instrumente ein Ocular ausreichend nahe dem Objecttische sich befindet, um diesen bequem mit den Händen erreichen zu können.

Dass die mechanische Einrichtung eines solchen Mikroskopes je nach seiner optischen Zusammensetzung verschieden ausfallen muss, versteht sich von selbst, und halte ich es auch für ganz überflüssig, darüber hier in Einzelnheiten einzugehen. Nur das sei noch erwähnt, dass jedes Ocular mit einer besonderen Einrichtung versehen sein muss, um die Entfernung zwischen dem Objective und dem Oculare etwas zu verlängern oder zu verkürzen, je nach der verschiedenen mittleren Sehweite der Beobachter. Das einfache Ineinanderschieben zweier Röhren wird hier der Erschütterung wegen nicht genügen; die nöthige Festigkeit wird vielmehr durch ein Triebwerk erreicht werden müssen.

In Betreff der mechanischen Einrichtung wird man aber die Frage aufwerfen können, ob es nicht möglich sei, um unnöthige Kosten zu vermeiden, ein einzelnes Mikroskopgestell mit den dazu gehörigen Objectiven dergestalt einzurichten, dass man es nach Willkür durch Aufschrauben besonderer Stücke als gewöhnliches zusammengesetztes Mikroskop oder als Mikroskop für mehrere Beobachter benutzen kann. Das kann in der That geschehen; an einem der Mikroskope, die ich im täglichen Gebrauche habe, können jetzt, nachdem ein Paar kleine Veränderungen daran vorgenommen worden sind, auch jene Apparate angebracht werden, deren man zur Beobachtung mit zwei oder mit vier Augen bedarf. Es ist aber dazu eine eigene Form des Gestelles nöthig; jene der jetzt am meisten gebräuchlichen Mikroskope ist dazu weniger passend, weil dieselbe nicht gestattet, dass die Prismen nahe genug über das Objectiv kommen.

Es ist aber bereits angeführt worden, dass beim stereoskopischen Mikroskope die von Nachet und von Wenham getroffenen Einrichtungen die vorübergehende Umwandlung des monoculären Mikroskopes in ein binoculäres und umgekehrt gestatten.

Digitized by Google

Die Benutzung des binoculären Mikroskopes als stereoskopisches Instrument hat sicherlich ihre Vorzüge: durch dasselbe gewinnt man eine plastische Vorstellung über die körperliche Form der Objecte, was mit dem monoculären Mikroskope nicht möglich ist. Wer daran gewöhnt ist, mit Einem Auge, und dann wohl immer mit dem nämlichen, durchs Mikroskop zu sehen, wird zuerst einige Mühe haben, die beiden Gesichtsfelder so auf einander zu werfen, dass sie verschmelzen. Aus Erfahrung weiss ich indessen, dass es bei einiger Uebung recht gut gelingt und dass man dann Bilder erschaut, die einen überraschenden Eindruck machen, da sie von jenen durch Ein Ocular wahrgenommenen so ganz verschieden sind. Und das gilt nicht blos für die Beobachtung bei auffallendem Lichte, sondern in geringerem Grade auch für die Beobachtung mit durchfallendem Lichte. Durchschnitte von pflanzlichen Geweben, von manchen thierischen Organen, namentlich den Lungen, von Injectionspräparaten, die in Canadabalsam aufbewahrt wurden u. s. w. erscheinen dann mit einer Plasticität, die denjenigen, welcher diese Objecte bisher nur mit einem monoculären Mikroskope betrachtete, in wahrhaftes Erstaunen setzen wird. Es ist ganz der nämliche Unterschied, als wenn man eine Zeichnung sieht, deren Theile insgesammt in der nämlichen Ebene liegen, und dann zwei Stereoskoptafeln mittelst eines Stereoskopes betrachtet. In der That lässt sich auch jedes der beiden Bilder in den Ocularen ganz gut mit einer solchen stereoskopischen Platte vergleichen, wenigstens bis zu einem gewissen Punkte hin. Bei der Stereoskopplatte liegen wirklich alle Theile in einer und derselben Fläche; im Bilde eines wirklichen Objectes hingegen, welches durch ein Ocular angeschaut wird, liegen die verschiedenen Theile, welche räumlich von einander getrennt sind, nicht ganz in der nämlichen Ebene, oder mit anderen Worten, es besitzt dieses Bild eine gewisse Dicke. Bei Beurtheilung der Leistungen des binoculären Mikroskopes als stereoskopischer Apparat kommt demnach auch die Tiefe des Gesichtsfeldes in Betracht. Allerdings kann beim mikroskopischen Sehen durch Anstrengung des Accommodationsvermögens die Tiefe, bis zu welcher das Auge durchzudringen vermag, etwas vermehrt werden und daher auch für verschiedene Augen etwas differiren. Doch kann diese Differenz nur eine geringe sein. Deshalb erachte ich die Mittheilung der nachverzeichneten Messungen, wozu mein rechtes Auge benutzt wurde, nicht für überflüssig. 196

Digitized by Google

Brennweite des benutzten Objectives.	Vergrösserung des Mikroskopes bei 25 Centimeter mittlerer Sehweite.	Tiefe des Gesichtsfeldes:	
		wahre.	scheinbare.
46,5mm	39	0,144mm	5,62mm
12,1	150	0,070	10,50
9,07	200	0,058	11,60
4,00	452	0,041	18,53
2,67	680	0,029	19,62
1,47	1240	0,014	17,36
	1800	0,010	18,00

Die Messungen wurden in der Weise ausgeführt, dass zuerst ein Object (ein Flügelschüppchen von *Pieris brassicae*) genau in den Focus gebracht, dann aber daraus soweit entfernt wurde, dass sein allgemeiner Umriss und seine Form eben noch erkennbar waren, obschon die Ränder bereits bei weit kürzerer Entfernung ihre Schärfe verloren hatten. Diese Entfernung, die wahre Tiefe des Gesichtsfeldes, wurde an einer Kreiseintheilung abgelesen, die an der Schraube zur feinen Einstellung angebracht war. Um die scheinbare Tiefe zu bekommen, wurde die gefundene Grösse der wahren Vertiefung mit der Vergrösserungsziffer multiplicirt.

Aus der kleinen Tabelle ist ersichtlich, dass die auf solchem Wege gefundene scheinbare Tiefe bei den stärkeren Vergrösserungen ansehnlicher ausfällt, als bei den schwächeren. Der Grund ist wohl hauptsächlich darin zu suchen, dass zu allen Bestimmungen das nämliche kleine Object diente, dessen Form natürlich bei stärkeren Vergrösserungen leichter zu erkennen ist, als bei schwächeren. Jedenfalls darf man daraus schliessen, dass stärkere Vergrösserungen der stereoskopischen Wahrnehmung verhältnissmässig kleiner Körper nicht gerade nachtheilig sind. Im Allgemeinen ersieht man aber, dass die Tiefe des Gesichtsfeldes im Mikroskope allerdings gering ist. Aus den Zahlen der letzten Columne ergiebt sich, dass sie einer Tiefe von höchstens 18 bis 19mm im Gesichtsfelde des blossen Auges gleichkommt, wenn dasselbe nach Objecten in einer Entfernung von 25 Centimeter sieht, oder mit anderen Worten, dass ein Auge, welches für diese Entfernung accommodirt ist, nur jene Gegenstände wird wahrnehmen können, die höchstens 18 bis 19mm dick

sind, während ihm alle ausserhalb jenes bestimmten Raumes befindlichen Objecte gar nicht oder nur als nebelartige Massen erscheinen. Diese Vergleichung thut schon zur Genüge dar, dass wir von der stereoskopischen Benutzung des binoculären Mikroskopes nicht zu Grosses erwarten dürfen, und dass die Bilder von Objecten, deren Dicke eine bestimmte für jedes Objectiv andersartige Grenze überschreitet, nebelartig und undentlich werden müssen, wie es auch die Erfahrung darthut.

Fassen wir alles bisher Mitgetheilte zusammen, so wird die Behauptung gerechtfertigt sein, dass wir zwar nicht hoffen dürfen, mittelst des binoculären Mikroskopes etwas zu entdecken, was nicht auch durchs monoculäre Mikroskop wahrnehmbar wäre, dass dasselbe aber, zumal bei weniger Geübten, sich nutzbringend bewähren kann, wenn es sich um Erkenntniss der Form, und bei durchscheinenden Objecten auch um Erkenntniss der Structur handelt. Eine Einrichtung, wodurch ein monoculäres Mikroskop mit Leichtigkeit sich vorübergehend in ein binoculäres umwandeln lässt, wird deshalb als eine erwünschte Zugabe eines Mikroskopes zu gelten haben.

Siebentes Kapitel.

Mittel zur Umkehrung der Bilder; das pankratische Mikroskop.

Die Umkehrung, welche alle Bilder im zusammengesetzten Mikro- 197
skope erfahren, hat auf die Richtigkeit der Beobachtung allerdings gar keinen Einfluss; gleichwohl ist dieselbe sehr störend in jenen Fällen, wo man genöthigt ist, die Objecte unter dem Mikroskope zu präpariren.

Durch viele Uebung lässt sich dieser störende Einfluss wohl zu einem grossen Theile beseitigen, doch muss ich daran zweifeln, dass jemals Jemand bei dieser Umkehrung der Bilder unter dem zusammengesetzten Mikroskope gleich gut arbeiten lernt, wie unter dem einfachen Mikroskope und der Lupe. Wer nicht tagtäglich die einmal mit grosser Mühe erworbene Fertigkeit unterhält, wird immer finden, dass die Bewegungen der Hände und Finger nur dann mit der grössten Festigkeit, Sicherheit und Feinheit ausgeführt werden, wenn sie in jener Richtung erfolgen, woran wir durch Vergleichung der Gesichtseindrücke mit den Gefühlseindrücken von Kindheit an gewöhnt sind.

Digitized by Google

Eine Verbesserung dieser Unvollkommenheit des zusammengesetzten Mikroskopes ist deshalb nicht ohne Bedeutung, leider aber ohne Opfer nicht herbeizuführen. Mit der gewöhnlichen Anzahl von Gläsern ist eine Wiederumkehrung der Bilder nicht zu erreichen, sondern es müssen zu diesem Zwecke immer mehr Oberflächen von Gläsern in die Bahn der Strahlen kommen. Da nun aber mit jeder neuen Glasoberfläche ein Verlust an Lichtstärke gepaart geht, so folgt von selbst, dass man durch ein solches bildumkehrendes Mikroskop den Gegenstand niemals so scharf wahrnimmt, wie durch ein anderes, worin sich die Bilder in verkehrter Richtung darstellen. Daher die Regel, dass man in den Fällen, wo es auf Genauigkeit und Schärfe der Beobachtung ankommt, niemals von den verschiedenen Mitteln zur Wiederumkehrung des Bildes Gebrauch macht. Gehören sie nun aber auch nicht zu den ständigen Theilen der optischen Einrichtung, so sind sie doch als temporäre Bestandtheile, die man nach Willkür gebrauchen und wieder wegthun kann, von grossem Nutzen.

198 Es giebt zwei Methoden, um eine Wiederumkehrung des Bildes herbeizuführen: die eine beruht auf katoptrischen Principien, die andere auf dioptrischen. Beide sind aber mit verschiedenen Modificationen ausführbar.

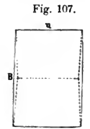
Wir haben bereits gesehen (§. 177), dass ein rechtwinkeliges Prisma (Fig. 73 u. 74), oder auch ein solches, wie das in Fig. 75 dargestellte, wenn es in die Bahn der Lichtstrahlen kommt, eine halbe Umkehrung des Bilder bewirkt, ganz so, als wenn wir in einen gewöhnlichen Spiegel sehen, wo alles, was zur Linken ist, rechts erscheint und umgekehrt, während dagegen Oben und Unten unverändert bleiben. Um das Bild umzukehren und beim zusammengesetzten Mikroskope also wiederum in die ursprüngliche Lage zu bringen, brauchte man nur eine zweite Reflexion eintreten zu lassen und zwar auf einer Fläche, welche rechtwinkelig auf der ersten Reflexionsfläche steht. Man hätte also ein zweites rechtwinkeliges Prisma mit einer dem rechten Winkel angehörigen Fläche dergestalt über das Ocular zu bringen, dass die Hypothenusenfläche rechtwinkelig auf jener des ersten Prisma steht. Würde man dann von der Seite her die Strahlen auffangen, welche durch die zweite dem rechten Winkel angehörige Fläche nach aussen treten, so müsste ein vollständig umgekehrtes, also zur normalen Lage umgekehrtes Bild gesehen werden.

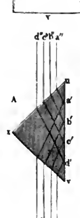
Eine Stellung freilich, wobei man in horizontaler Richtung von der Seite her in ein Mikroskop sieht, würde sehr lästig sein, wenigstens gar nicht geeignet, das Präpariren auf dem Objecttische zu erleichtern. Man kann aber dieses nämliche rechtwinkelige Prisma auch noch auf eine andere Weise benutzen, die dem vorgesteckten Zwecke besser entspricht. Wird es nämlich so gestellt, wie *A* in Fig. 107, dass die Hypothenusen-

Digitized by Google

fläche *uv* mit der optischen Axe des Mikroskopes parallel ist, dann werden die Strahlen *a*, *b*, *c*, *d* beim Eintritte in dasselbe gebrochen und hierauf an der Hypothenusenfläche bei *d'*, *c'*, *b'*, *a'* reflectirt werden, so dass sie nach *a''*, *b''*, *c''*, *d''* gehen. In dieser Stellung kann nun ein solches Prisma in dem Rohre des Mikroskopes oder vor dem Oculare angebracht werden, und wenn in diesem Mikroskope schon ein reflectirendes Prisma vorhanden ist, dann kann der Beobachter in der nämlichen Richtung wie früher sehen, d. h. horizontal, wenn das Prisma ein rechtwinkeliges ist, oder unter einem bestimmten Winkel, etwa von 45°, wenn die Reflexion, wie in Fig. 75, unter einem solchen Winkel stattfindet. Es können auch zwei rechtwinkelige Prismen in der Stellung wie *A* und *B* in Fig. 107 dicht über einander im Rohre eines verticalen Mikroskopes oder vor dem Oculare angebracht werden, so dass bei der Umkehrung des Bildes auch die verticale Stellung unverändert bleibt.

Fig. 107.





Auf diese Art ist es also möglich, nicht nur das Bild wiederum in die Richtung zu bringen, welche das Object ursprünglich hatte, sondern zugleich auch die Vortheile zu sichern, welche die verticale oder nur wenig davon abweichende Stellung des Mikroskopes für das Präpariren auf dem Objecttische darbietet. Auch bleibt die Verbesserung der Aberrationen die nämliche, weil keine grössere Anzahl convexer Glasoberflächen in Anwendung kommt. Nur üben dergleichen Prismen die gleiche nachtheilige Wirkung auf den Gang der Strahlen, die sich bei Benutzung sehr dicker Deckgläser einstellt.

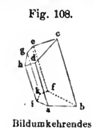
Benutzt man übrigens als oberes Prisma das in Fig. 75 abgebildete, dann kann man den Strahlen auch einen Winkel verschaffen, der für die Haltung des Kopfes vortheilhaft ist.

Besser noch als die Vereinigung zweier solcher Prismen eignet sich ein einzelnes Prisma, in dessen Innerem durch wiederholte Reflexion die nämliche Umkehrung zu Stande kommt. Wir verdanken Amici ein solches Prisma. Ein von Nachet verfertigtes ist in Fig. 108 (a. f. S.) so dargestellt, dass man es in etwas schiefer Richtung von der einen Seite und von oben sieht. Die punktirten Linien bezeichnen die nicht sichtbaren Kanten. Die unterste Fläche *baikf* lässt die aus dem Oculare kommenden Strahlen hindurch. Die Flächen *abcd* und *efbc* sind die reflectirenden. So werden die Strahlen von rechts nach links und umgekehrt von

Digitized by Google

links nach rechts geworfen, und dadurch kommt eine vollständige Umkehrung des Bildes zu Stande. Durch die oberste Fläche *ceghd* treten die also reflectirten Strahlen wieder heraus und fallen in das Auge des Beobachters. Die übrigen Flächen *aihd*, *ghik* und *egkf* sind ohne Einfluss auf die optische Wirkung des Prisma; dasselbe ist deshalb so weit abgeschliffen, um unnöthige Grösse zu vermeiden. Die obere Fläche *ceghd* und die untere Fläche *baikf* treffen unter einem Winkel von 58° auf einander; die Flächen *abcd* und *efbc* vereinigen sich unter einem Winkel von $81^1/_2$°.

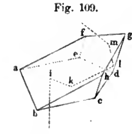
Fig. 108.



Bildumkehrendes Prisma nach Nachet.

Dieses Prisma bewährt sich als ein ganz bequemes Mittel zur Umkehrung des Bildes, da man es nur oberhalb des Oculares anzubringen braucht, um Alles im Gesichtsfelde in wirklicher Stellung wahrzunehmen. Indessen ist doch eine üble Eigenschaft daran geknüpft: das Gesichtsfeld wird dadurch verkleinert, oder um es richtiger auszudrücken, der Beobachter, welcher das ganze Gesichtsfeld übersehen will, muss das Auge über dem Oculare hinbewegen, weil immer nur ein Theil desselben auf einmal überblickt werden kann. Deshalb fand sich Nachet veranlasst, eine Modification des Prisma eintreten zu lassen, wobei es nicht mehr auf das oberste Glas des Oculares kommt, vielmehr zwischen beide Ocularglaser. Dieses veränderte Prisma (Fig. 109) hat zwei fünfseitige Flächen *abcde* und *abhgf*, die an der gemeinschaftlichen scharfen Kante *ab* an einander stossen, und dieser Kante gegenüber durch die Flächen *cdgh* und *defg* verbunden werden. Der durch diese Flächen umschlossene Körper ähnelt etwa einem Doppelkeile, woran die Kanten *ab* und *dg* senkrecht auf einander stehen. Die Bildumkehrung durch dieses Prisma geschieht nun in folgender Weise. Die Strahlen, welche das Collectiv verlassen haben, treten durch die untere Fläche *abcde* ins Prisma ein und verlaufen nach der oberen Fläche *abhgf*, wo sie in *i* wiederum nach der unteren Fläche zum Punkte *k* reflectirt werden. Hier erfolgt eine dritte Reflexion nach *l* in der einen verticalen Ebene *cdgh*, und von hieraus nach *m* in der zweiten verticalen Ebene *defg*, wo die Strahlen die letzte Reflexion erfahren und durch die oberste Fläche austretend ihren Weg durch das Ocular hindurch zum Auge fortsetzen. Das Ocularglas hat zu diesem Ende eine schiefe Stellung, die jedoch für den Beobachter eher vortheilhaft als hinderlich ist. Alle Strahlen haben eine vollständige Reflexion erfahren, mit alleiniger Ausnahme jener bei *i* an der oberen Fläche. Der hierduch herbeigeführte

Fig. 109.



Lichtverlust ist indessen nicht bedeutend. Er liesse sich nöthigenfalls noch mehr reduciren, wenn man den Abschnitt *abhf* jener Fläche durch eine Silberschicht spiegelnd machte, was auch ohne Schaden zulässig wäre, weil das Ocular nicht der ganzen oberen Fläche entspricht, sondern nur dem Abschnitte *fhg*, wodurch die Strahlenbündel austreten.

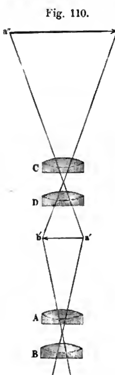
Ich wende mich jetzt zu den dioptrischen Methoden. Sind sie auch **199** dem eigentlichen Wesen nach nicht verschieden, da bei allen das Ziel dahin geht, durch Einschieben einer Linse oder mehrerer Linsen eine Umkehrung des Bildes zu Stande zu bringen, so kann man doch der Deutlichkeit halber zwei Hauptclassen unterscheiden, je nachdem die Umkehrung in der Nähe des Objectives oder aber erst im Oculare bewirkt wird.

Bei jeder Entfernung, falls sie nur grösser ist als die Brennweite, kann man hinter einer Linse das Bild eines davor stehenden Objectes entstehen lassen. Das Nämliche gilt daher auch vom Objective eines zusammengesetzten Mikroskopes. Bringt man ein Object dem Brennpunkte des Objectives nicht ganz nahe, wie es geschehen muss, wenn sein Bild vor das Ocular fallen soll (§. 145), entfernt man dasselbe vielmehr weiter und weiter vom Objective, so rückt das Bild der gegenüber liegenden Fläche immer näher und zugleich wird es allmälig kleiner, bis endlich beide gleich weit vom optischen Mittelpunkte entfernt sind, nämlich um die doppelte Brennweite des Objectives, wo dann das Luftbild und das Object gleiche Grösse haben. Wird das Object noch weiter fortgerückt, dann erscheint das davon kommende Bild sogar kleiner. Betrachtet man nun dieses umgekehrte Luftbild, gleich als wäre es ein Object, durch ein zusammengesetztes Mikroskop, so stellt es sich in der Richtung und Lage dar, welche dem Objecte ursprünglich zukommen.

Auf dieses Princip stützt sich die Einrichtung des Mikroskopes, welches den Namen des **pankratischen** (*παν*, alles, und *κρατειν*, mächtig sein) erhalten hat, weil man durch blosse Stellverrückung des Luftbildes die Vergrösserung in ziemlich weiten Grenzen vermehren und vermindern kann. Zur Verdeutlichung mag Fig. 110 (a. f. S.) dienen. *A* und *B* ist ein gewöhnliches Doublettensystem aus aplanatischen Linsen, dem man natürlich den Vorzug vor einer einzelnen Linse giebt, weil es hier von hoher Wichtigkeit ist, dass das Luftbild in allen seinen Theilen möglichst vollkommen einem wahren Objecte gleicht. Die Ueberverbesserung dieses Systems braucht deshalb auch nur unbedeutend zu sein. Das Object *ab*, wenn es in gehöriger Entfernung vom Brennpunkte *p* befindlich ist, wird alsdann in *b'a'* ein umgekehrtes Bild erzeugen. Fällt nun dieses Bild vor ein zweites Objectivsystem *C* und *D*, so wird ein neues Bild *a''b''* entstehen, und zwar in der ursprünglichen Stellung des Objectes. Fängt man dann dieses Bild auf einem Schirme auf, so hat man ein bildumkehrendes

Bildmikroskop, oder betrachtet man dasselbe durch ein gewöhnliches Ocular, so hat man ein bildumkehrendes zusammengesetztes Mikroskop.

Fig. 110.



Ist das System CD das Objectiv eines zusammengesetzten Mikroskopes, so muss natürlich für das nämliche Auge die Entfernung des Bildes $b'a'$ von der Unterfläche der Doppellinse D unverändert bleiben. Damit nun die Vergrösserung verändert werden kann, muss jedes der beiden Systeme AB und CD in ein besonderes Rohr gefasst sein, um über einander gleiten zu können. Wird der Abstand beider Systeme von einander vergrössert, so wird auch das Bild $b'a'$ an Grösse zunehmen, umgekehrt dagegen abnehmen, wenn man die beiden Systeme einander nähert; fallen endlich die Brennpunkte beider zusammen, so dass sich kein Bild mehr dazwischen formt, dann ist die Vergrösserung natürlich Null. Die Entfernungen der Brennpunkte beider Systeme bestimmen also einerseits die Grenze der Bewegungsausdehnung, die andere Grenze aber wird ebensowohl durch die Unbequemlichkeit bestimmt, welche mit einer zu grossen Länge des Instrumentes verbunden ist, als dadurch, dass die Bilder bei zunehmender Vergrösserung an Schärfe verlieren.

Um das Angeführte durch ein Beispiel zu erläutern, nehmen wir an, das zusammengesetzte Mikroskop, bei welchem das System CD die Stelle des Objectives vertritt, soll für sich allein gebraucht den Durchmesser eines Objectes 25 Mal vergrössern. Wir nehmen ferner an, die Brennweite des vorderen Systems betrage 10^{mm} und beide über einander gleitende Rohre haben eine Bewegungsextension von 35^{mm}, so dass das Bild bei stärkster Annäherung beider Systeme 15^{mm} und bei stärkster Entfernung beider von einander 50^{mm} hinter den optischen Mittelpunkt des Systemes AB fällt. Für den ersten Fall wird dann das Bild (§. 130) $\frac{15 - 10}{10} = 0{,}5$ so gross als das Object sein, und die gesammte Vergrösserung ist $= 25 \,.\, 0{,}5$ oder 12,5. Die Entfernung vom Objecte aber ist $= \frac{10 \,.\, 15}{15 - 10} = 30^{mm}$. Im anderen Falle wird das Bild $\frac{50-10}{10}$ $= 4$ Mal grösser sein als das Object, und die Gesammtvergrösserung ist

dann 25 . 4 = 100, das Object aber ist $\frac{10 . 50}{50 - 10}$, d. h. 12,5mm vom optischen Mittelpunkte des vorderen Systems entfernt. Zwischen 12,5 und 100, als den beiden Extremen, liegen dann die übrigen Vergrösserungen.

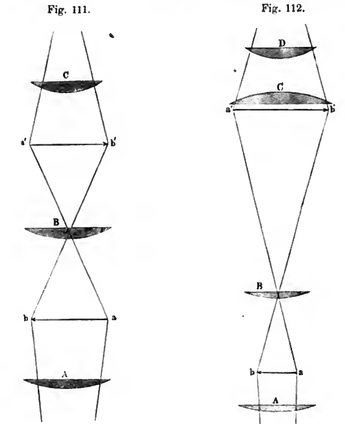
Es ist klar, dass jedes gewöhnliche zusammengesetzte Mikroskop temporär in ein pankratisches umgewandelt werden kann, wenn man statt eines gewöhnlichen Objectivsystems ein pankratisches System anwendet. Um ein grosses Gesichtsfeld zu bekommen, wodurch das Arbeiten auf dem Objecttische bequemer wird, verdient in einem solchen Falle ein Ramsden'sches Ocular den Vorzug vor einem Huygens'schen.

Ein solches pankratisches Objectiv müsste als eine sehr wünschenswerthe Zugabe für jedes zusammengesetzte Mikroskop erscheinen, gäbe 200
es nicht noch eine andere Methode, wodurch der Hauptzweck, die Umkehrung des Bildes nämlich, wenigstens eben so gut erreicht wird, und die dabei noch den Vorzug hat, dass die Einrichtung weniger kostspielig ist, weil gar keine achromatischen Doppellinsen dazu erforderlich sind. Man kann nämlich die Umkehrung in das Ocular versetzen, gleichwie man es beim Teleskope zu thun pflegt, wenn dieses zur Beobachtung irdischer Objecte eingerichtet wird.

Das Ocular kann hierzu auf mehr denn eine Weise benutzt werden. Am einfachsten ist die Einrichtung, welche Fig. 111 (a.f.S.) dargestellt ist. Die Linse *A* ist ein gewöhnliches Collectivglas, welches wie in jedem anderen Falle (Fig. 68 *EF*) die Strahlen, welche vom Objective kommen, zu einem verkehrten Bilde *ba* vereinigt. Befindet sich das Object in der gehörigen Entfernung vom Objective, so wird dieses Bild in eine solche Entfernung von der zweiten Linse *B* kommen, dass in nicht zu weiter Entfernung dahinter bei *a'b'* ein zweites, jetzt aber umgekehrtes Bild entsteht, welches durch das Ocular *C* vergrössert angeschaut werden kann. Ein solches bildumkehrendes Ocular, wie es Fig. 111 dargestellt ist, kann man sich demnach so denken, als bestände es aus einem gewöhnlichen Huygens'schen Oculare *A* und *B* nebst einem Augenglase *C*. Dabei sind aber noch verschiedene Modificationen möglich. Statt das umgekehrte Bild durch das letztere Glas allein zu schauen, kann man es durch ein Huygens'sches Ocular betrachten, oder wegen des grösseren Feldes noch lieber durch ein Ramsden'sches Ocular*), wie es in Fig. 112 abgebildet ist, wo *a'b'* das umgekehrte Bild darstellt, welches sich vor der vorderen Linse eines Oculares dieser letzteren Art befindet. Hieraus ergiebt sich denn auch, dass jeder, der bei seinem Mikroskope zwei Ocu-

*) Vielleicht dürfte ein Herschel'sches aplanatisches Doublet dem Zwecke noch besser entsprechen.

lare besitzt, das Instrument in ein bildnmkehrendes verwandeln kann, wenn er mit Hülfe eines vereinigenden Rohres das eine Ocular in eine gewisse Entfernung oberhalb des anderen bringt. Allerdings werden sich alsdann die Bilder nicht in der Schärfe und so frei von Aberration dar-



stellen, wie beim Betrachten durch Ein Ocular *); das ist aber auch we-

*) Nach der Theorie muss die Aberrationsgrösse im quadratischen Verhältniss der in einem Oculare benutzten Gläserzahl abnehmen, wenn diese in den gehörigen Abständen von einander sind, so dass also die Aberration eines aus vier Gläsern bestehenden Oculares viermal schwächer sein müsste, als wenn das Ocular nur aus zwei Gläsern besteht. Das ist aber einer von jenen Fällen, wo die Erfahrung mit der Theorie in Widerspruch ist oder deren Postulate nicht ganz erfüllen kann, da, wenn zur Zusammensetzung eines Oculares mehr als zwei Linsen verwendet werden, jede der Zweizahl hinzugefügte Linse nicht allein die Lichtstärke vermindert, sondern auch die Nettigkeit des Bildes beeinträchtigt.

Digitized by Google

niger nöthig bei dem praktischen Zwecke den man vor Augen hat, die Objecte nämlich zum Behufe einer näheren genauen Untersuchung zu präpariren. Das pankratische Princip kann übrigens hier auch in Anwendung kommen: wenn man in Fig. 111 die Linse *C*, in Fig. 112 das zweite Ocular *CD* von der Linse *B* entfernt, dann nimmt die Vergrösserung zu, während sie dagegen abnimmt, wenn man die Linsen einander nähert. Verbindet man jedoch gewöhnliche Oculare unter einander, dann wird der Unterschied bei einem gleichen Maasse der Verlängerung nicht so bedeutend sein, als wenn ein pankratisches Objectiv genommen wird, weil die Brennweiten der nichtverbesserten Linsen der ersteren länger sein müssen.

Ein Punkt tritt aber störend entgegen, wenn die Umkehrung des Bildes zwischen die Gläser des Oculares verlegt werden soll, nämlich die ungewöhnliche Länge, welche das Mikroskop dadurch bekommt. Gewiss würden manche, die nach der eben gegebenen Anweisung ein zweites Ocular in einiger Entfernung oberhalb des ersten anbringen wollten, die Erfahrung machen, dass ihr Instrument dadurch zu lang würde und sie Mühe hätten, gehörig damit zu beobachten und gleichzeitig mit den Händen auf dem Objecttische zu arbeiten. Diese Unbequemlichkeit ist aber weniger in dem Principe des bildumkehrenden Mikroskopes begründet, als in der ungewöhnlichen Höhe, bis zu welcher viele Optiker mit ihren Instrumenten ohne Noth ansteigen.

Hierbei lernt man auch den Vortheil schätzen, den es hat, wenn sich das Rohr des Mikroskopes verkürzen lässt (§. 165). Folgendes Beispiel zeigt, dass man dann mit gewöhnlichen Ocularen recht gut ein bildumkehrendes Mikroskop von nur mässiger Länge bekommen kann. Von einem Amici'schen Mikroskope, das ich täglich gebrauche, kann die Hälfte des Rohres weggenommen werden. Geschieht dies, und wird ausser einem Huygens'schen Oculare noch ein solches von Ramsden mit einem Verlängerungsrohre aufgesetzt, wodurch das Mikroskop ein bildumkehrendes wird, so hat das ganze Instrument bis zum Tische 32 Centimeter Höhe und man kann noch bequem im Sitzen daran arbeiten. Auch unterliegt es keinem Zweifel, dass sich, wenn bei entsprechender Verkürzung des Rohres stärkere Linsen ins Ocular genommen werden, bildumkehrende Mikroskope darstellen lassen, die noch weit kürzer sind.

Im Ganzen genommen scheint mir das letztere Verfahren*) vor dem ersteren den Vorzug zu verdienen, weil es einfacher und weniger kostspie-

*) Ich muss noch bemerken, dass bei katadioptrischen Mikroskopen die Umkehrung des Bildes auf dioptrische Weise lediglich durchs Ocular erreicht werden kann: man braucht nur durch das katoptrische Objectiv ein Bild sich formen zu lassen und dieses dann durch ein gewöhnliches dioptrisches zusammengesetztes Mikroskop zu betrachten. Man würde so ein katadioptrisches pankratisches Objectiv bekommen.


Digitized by Google

lig ist, und doch gleich gut zum Ziele führt. Beim pankratischen Objective hat man freilich einen grösseren Spielraum für die Vergrösserung; dieser Vortheil kommt indessen nur wenig in Betracht, da zu den geringsten Vergrösserungen, bei denen man präparirt, immer lieber eine Lupe benutzt wird, bei den stärkeren Vergrösserungen aber, z. B. über 50 Mal, die Bewegung der Hände nicht Festigkeit und Sicherheit genug behält, um mit Erfolg davon Gebrauch zu machen. Deshalb erachte ich es wünschenswerth, wenn die Optiker häufiger, als bisher gebräuchlich, ihren Mikroskopen ein bildumkehrendes Ocular beifügten, das dergestalt eingerichtet werden könnte, dass es aus zwei Ocularen bestände, die sich auch einzeln für sich anwenden liessen. Eine solche Zugabe könnte den Preis eines Mikroskopes beinahe nicht erhöhen, und sie würde viel zweckmässiger sein, als die Herstellung sogenannter Dissectionsmikroskope, welche nach den oben entwickelten Principien eingerichtet sind, und die, wenn sie auch dem eigentlichen Zwecke, wozu sie bestimmt sind, vollkommen entsprechen, den Besitzer nöthigen, sich ausserdem noch ein anderes Mikroskop für genauere Untersuchungen anzuschaffen.

Man vergesse nie, dass bei einer Wissenschaft, zu deren Betreibung materielle Hülfsmittel erfordert werden, nichts besser dazu beiträgt die Anzahl ihrer Jünger zu vermehren, als wenn man die materiellen Hülfsmittel nicht blos möglichst gut, sondern auch möglichst wohlfeil herstellt.

201 Nicht ganz leicht ist die Frage zu beantworten, ob man künftighin das einfache Mikroskop wird ganz entbehren können, da jetzt das zusammengesetzte Mikroskop wegen der grösseren Schärfe und wegen anderer Tugenden zum Beobachten den Vorzug verdient, und da es ausserdem auch gelungen ist, das Instrument von der noch daran haftenden Unvollkommenheit zu befreien, dass es nämlich ein verkehrtes Bild liefert. Wahrscheinlich werden viele von denen, die ein bildumkehrendes zusammengesetztes Mikroskop besitzen und mit dessen Gebrauche vertraut sind, diese Frage mit Ja beantworten, und man muss gestehen, dass das einfache Mikroskop in vielen Fällen dadurch wirklich entbehrlich gemacht wird, insofern das grössere Gesichtsfeld und der grössere Abstand des Objectives vom Objecte nicht zu verkennende Vorzüge sind. Andere dagegen werden mit Mohl (*Mikrographie* S. 227) dem einfachen Mikroskope immer den Vorzug geben, weil dabei der Kopf vorn über gebeugt wird und das Auge während des Arbeitens dicht über den Händen bleibt. Viel kommt natürlich hierbei auf die Gewohnheit an.

Gewichtiger dürfte bei Beantwortung dieser Frage der Umstand sein, dass das bildumkehrende Mikroskop dem einfachen in optischer Vollkommenheit nachsteht, zumal wenn letzteres mit Doublets versehen ist. In der That will es mir nicht wahrscheinlich vorkommen, dass das bildumkehrende Mikroskop in dieser Beziehung jemals mit letzterem werde in

die Schranken treten können, einmal wegen der grossen Menge reflectirender Oberflächen, dann aber auch deshalb, weil eine vollkommene Verbesserung der Aberrationen wegen der grösseren Zusammensetzung schwerer erreichbar scheint, als beim gewöhnlichen zusammengesetzten Mikroskope, zumal wenn das pankratische Princip in Anwendung gebracht wird; denn mit jeder Veränderung im wechselseitigen Abstande der Linsen geht auch eine Veränderung im Grade der Aberrationsverbesserung gepaart (§. 159). Freilich muss man zugeben, dass bei den schwachen Vergrösserungen, wobei doch die Bildumkehrung allein passend erscheint, dieser Einfluss nicht sehr merkbar ist, und überdem auch, wenn man sich mit einem kleineren Spielraume im Wechsel der Vergrösserung begnügt, es nicht schwer fällt, den bildumkehrenden Apparat so einzurichten, dass die Bilder ausreichende Schärfe besitzen für den Zweck, wofür die ganze Einrichtung bestimmt ist.

In Einer Beziehung bleibt aber dem einfachen Mikroskope stets der Vorzug gesichert: es nimmt nur wenig Raum ein und ist auf Reisen sowie bei wissenschaftlichen Excursionen ein bequem tragbares Instrument. Deshalb wird es für jenen, der seine Thätigkeit nicht auf das enge Studirzimmer einschränkt, vielmehr die Natur mitten in der Natur selbst studiren will, stets unentbehrlich bleiben.

Achtes Kapitel.

Beleuchtung der mikroskopischen Objecte.

Bei den meisten mikroskopischen Beobachtungen ist die Anwendung **202**
eines Apparates zur Beleuchtung der Objecte erforderlich, einestheils, damit man dieselben unter Beibehaltung der horizontalen Stellung des Objecttisches auf hellerem Hintergrunde sieht, anderntheils deshalb, damit man bei der Untersuchung durchsichtiger wie undurchsichtiger Körper das durchfallende oder auffallende Licht je nach den Umständen modificirt einwirken lassen kann.

Der Beleuchtungsapparat ist deshalb stets ein sehr wichtiger Theil jedes Mikroskopes. Man darf zwar nicht erwarten, durch eine gute Beleuchtung ein schlechtes Mikroskop jemals in ein gutes umwandeln zu können; aber die Wirkung eines Mikroskopes, dessen übrige optische Einrichtung sonst noch so vollkommen ist, wird stets eine mehr oder weniger unvollkommene bleiben, wenn dabei die Hülfsmittel fehlen, die

Beleuchtung der Objecte auf die ihrer besonderen Eigenthümlichkeit am meisten entsprechende Weise zu bewirken.

Dass durchsichtige und undurchsichtige Objecte ihre besondere Beleuchtung verlangen, versteht sich von selbst; jeder mikroskopische Beobachter wird aber auch ausserdem finden, dass die Art der Objecte noch in anderer Beziehung auf den Beleuchtungsmodus bestimmend einwirkt, dass manche Objecte ein starkes, andere wieder ein schwaches Licht verlangen, dass zur vollkommensten Aufklärung hier paralleles, dort divergirendes oder convergirendes Licht, und bei noch anderen Objecten schief einfallendes Licht erforderlich ist. Hieraus ersieht man schon, dass der Beleuchtungsapparat mehrfachen Zwecken entsprechen muss, und dass auf seiner zweckmässigen Einrichtung die Brauchbarkeit eines Mikroskopes wesentlich mit beruht.

Vergleicht man die Mikroskope aus verschiedenen Werkstätten unter einander, so findet man, dass in der Einrichtung und Verfertigung der Oculare und Objective eine ziemliche Uebereinstimmung sich kund giebt, in Betreff der Beleuchtungsapparate dagegen sich noch grosse Verschiedenheit zeigt. Diese Verschiedenheit kann nur dem Umstande zugeschrieben werden, dass das Grundprincip, welches jeden einzelnen Optikus bestimmt, an sich selbst und für einzelne Fälle vollkommen richtig sein kann, aber meistens zu einseitig und zu ausschliesslich angewendet wird, mit Vernachlässigung anderer Grundprincipien, die auf andere Fälle gleich gut passen. Die Beweise dafür wird man im dritten Bande finden, wo die Apparate genauer beschrieben werden; hier beschränke ich mich darauf, die Regeln aufzustellen, die für eine gute Beleuchtung der mikroskopischen Objecte festgehalten werden müssen, wobei ich von einem allgemeinen Standpunkte ausgehe, dessen Richtigkeit durch die Theorie wie durch die Erfahrung bestätigt wird.

203 Zuerst und vorzugsweise soll die Beleuchtung bei durchfallendem Lichte betrachtet werden, weil diese bei mikroskopischen Untersuchungen am meisten in Anwendung kommt. Sie erfordert auch aus dem Grunde noch eine ausführlichere Berücksichtigung, weil beim gewöhnlichen nicht mikroskopischen Sehen das Auge weniger an diese Beleuchtungsart gewöhnt ist, da wir ja die meisten Gegenstände von oben beleuchtet wahrnehmen.

Würden beim Sehen mit blossem Auge die Gegenstände immer nur auf einem erleuchteten Hintergrunde wahrgenommen, wobei die Netzhaut Schattenbildchen von denselben erhält, so müssten nach der Natur der Sache bei der Beleuchtung der Objecte, mögen sie mit blossem Auge oder mittelst des Mikroskopes betrachtet werden, die nämlichen Bedingungen erfüllt werden.

Was früher (§. 96) über das Sehen mit blossem Auge bei durchfal-

lendem Lichte gesagt wurde, kann daher ohne Weiteres auf das mikroskopische Sehen bei der nämlichen Beleuchtungsart übertragen werden. Ein Unterschied besteht aber dabei, der nicht unerwähnt bleiben darf. Beim einfachen und beim mikroskopischen Sehen wird man im Allgemeinen ein Object in Vollständigkeit dann am besten wahrnehmen, wenn die Lichtstrahlen gleichmässig auf alle Punkte der Fläche auffallen, worin sich das Object befindet; sollen aber Einzelnheiten daran wahrgenommen werden, so ist es oftmals vortheilhaft, wenn man das Licht in solcher Richtung auffallen lässt, wobei einzelne Theile in anderer Weise davon getroffen werden. Beim gewöhnlichen Sehen kehren wir deshalb den Gegenstand dem Lichte in einer Richtung entgegen, wobei die Einzelnheiten am deutlichsten wahrnehmbar werden. Es handle sich z. B. um eine Glasplatte, in der sich wegen unvollkommener Mengung sogenannte Streifen befinden. Bei einer bestimmten Stellung der Platte werden diese Streifen vielleicht nicht wahrzunehmen sein, weil die dadurch bewirkte Abweichung der Strahlen zu unbedeutend ist, als dass ein Schattenbild auf der Netzhaut entstehen könnte; hält man aber die nämliche Glasplatte in etwas veränderter Stellung dem Lichte entgegen, dann zeigen sich die Streifen deutlich, weil die Abweichung der Lichtstrahlen, eine Folge des verschiedenen Brechungsvermögens in den verschiedenen an einander grenzenden Schichten, jetzt gross genug ist, um einen Eindruck auf die Netzhaut hervorzubringen. Haben wir ein derartiges wenn auch kleineres Glasplättchen unterm Mikroskope, oder betrachten wir, was das Nämliche ist, zwei sich nicht vollständig mischende Flüssigkeiten von verschiedenem Brechungsvermögen, etwa Schwefelsäure und Wasser, dann kann es wohl geschehen, dass von den hier wirklich vorhandenen Streifen bei einer gewissen Richtung des durchfallenden Lichtes nichts wahrzunehmen ist. Bei der Einrichtung des Mikroskopes lässt sich nun die Stellung der Objecte nicht in gleicher Weise verändern, als dies beim Sehen mit blossem Auge geschehen kann, und deshalb muss hier die Sache umgekehrt werden, d. h. durch den Beleuchtungsapparat muss hier dem Lichte die günstigste Richtung behufs der Wahrnehmung des Objectes verschafft werden. Lässt man auf die soeben als Beispiel angeführte Glasplatte oder auf die zwei gemengten Flüssigkeiten das Licht in schiefer Richtung auffallen, dann können die Zeichen der unvollständigen Mengung zum Vorschein kommen.

Derartiges nehmen wir in zahlreichen anderen Fällen wahr. Ein dünner Körper, z. B. ein Streifen Papier, dessen schmale Kante dem Auge zugekehrt ist, wird leichter wahrnehmbar, sobald er dem Lichte gegenüber steht und einen Schlagschatten wirft. So ist es auch nur bei schief einfallendem Lichte möglich, einzelne schwer wahrzunehmende Einzelnheiten durchsichtiger mikroskopischer Objecte, z. B. die Querstreifchen auf den Schüppchen mancher Schmetterlinge, die Streifen und Punkte auf

den Schalen vieler Diatomeen u. s. w. zn nnterscheiden. Denn sind diese Streifen nnd Punkte durch Verdickungen und Vertiefungen erzengt, so wird, wie aus Fig. 113 leicht zu entnehmen ist, ein Theil jener in schiefer Richtung auf ihre Seiten treffenden Strahlen vom Wege abgelenkt, so dass sie gar nicht ins Mikroskop eintreten.

Bei ganz undurchsichtigen Gegenständen beruht das Sichtbarmachen auf einem Auffangen der Lichtstrahlen. Hier kann demnach die verhältnissmässig verschiedene Richtung der zur Beleuchtung dienenden Strahlen nur einen geringen Einfluss üben. Die meisten Körper indessen, welche unter dem Mikroskope bei durchfallendem Lichte untersucht werden, sind mehr oder weniger vollkommen durchscheinend, nnd nur weil sie auf die einfallenden Lichtstrahlen dioptrisch und katoptrisch einwirken, geschieht es, dass ein Theil dieser Strahlen nicht zum Auge gelangt, wodnrch dann die Körper sichtbar werden. Nun ist es klar, dass es nicht einerlei sein kann, ob parallele, divergirende oder convergirende Strahlen auf solche Körper treffen, nicht minder aber auch, dass man keiner dieser drei Richtungen einen entschiedenen Vorzug geben darf, da es durchaus von der Form der Oberflächen bedingt ist, ob die Objecte bei einer dieser Richtungen am deutlichsten hervortreten. Ein ganz dünnes Krystallplättchen z. B., dessen platte Oberfläche dem Auge des Beobachters zugekehrt ist, wird nicht mehr sichtbar sein, wenn es (Fig. 114) durch parallele und senkrecht von unten her auffallende Strahlen getroffen wird. Dasselbe wird aber noch wahrgenommen werden können, wenn divergirende Strahlen (Fig. 115) auf seine Oberfläche treffen, weil dann die schief anffallenden Strahlen stärker gebrochen oder reflectirt

Fig. 113.

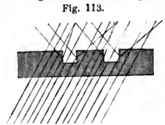
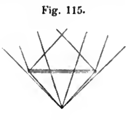


Fig. 114.

Fig. 115.



werden, die Lichtmenge, welche das Auge nicht erreicht, ansehnlicher ist und deshalb die Ränder sichtbar werden *).

*) Dem verschiedenartigen Einflusse der Objecte auf den Gang der Lichtstrah-

Digitized by Google

Ich muss aber noch ausdrücklich bemerken, dass eine vollständige Theorie der Beleuchtung durchscheinender Objecte nur in Verbindung mit der Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung gegeben werden kann, und verweise ich deshalb auf den zweiten Band, wo noch andere hierher gehörige Punkte eine Besprechung finden werden.

Ich habe dann noch hinzuzufügen, dass überall da, wo im Vorhergehenden von parallelen Strahlen die Rede ist, unter diesem Ausdrucke der Kürze halber ein Strahlenbündel verstanden wird, welches einfach durch einen ebenen Spiegel ins Gesichtsfeld geworfen wird, im Gegensatze zu jenem Strahlenbündel, welches durch einen Hohlspiegel oder durch eine Linse oder ein Linsensystem convergirend oder divergirend gemacht worden ist. In der Wirklichkeit gehen aber von einem ebenen Spiegel, der ja nicht in einer unendlichen Entfernung befindlich ist, divergirende Strahlenbündel aus, wie Nägeli und Schwendener (*Das Mikroskop*, S. 85) richtig hervorheben. Ich komme hierauf zurück, wenn ich von den Erscheinungen zu sprechen habe, die an durchscheinenden von gewölbten Oberflächen begrenzten Objecten beim Durchtritte von Strahlen auftreten.

Es wurde weiter oben (§. 95) gezeigt, dass ein Gegenstand am besten gesehen wird, wenn der Gegensatz zwischen dem Eindrucke seines Netzhautbildchens und dem Eindrucke des Lichtes auf die umgebende Netzhaut am stärksten hervortritt, und ausserdem auch (§. 79), dass das blosse Auge die Gegenstände bei durchfallendem Lichte keineswegs am besten sieht, sobald dieses Licht sehr stark ist, vielmehr eher noch besser, wenn das Gesichtsfeld nur schwach erleuchtet ist. Die Gründe dafür sind dort angegeben worden. Die Beobachtung mit bewaffnetem Auge zeigt ganz das Nämliche: sobald sehr kleine oder sehr **204**

---

len ist es auch zuzuschreiben, dass die Optiker sowohl als die Mikrographen so wenig in Betreff der Frage übereinstimmen, welche Richtung der Strahlen zur Beleuchtung mikroskopischer Gegenstände den Vorzug verdient. Bei der von Wollaston (*Phil. Transactions.* 1829, p. 13) empfohlenen Beleuchtungsweise treffen convergirende noch nicht in einem Brennpunkte vereinigte Strahlen auf das Object. Brewster (*Treatise on the microscope* p. 155) meint, das Object müsse sich gerade im Brennpunkte convergirender Strahlen befinden, und derselben Ansicht ist auch Dujardin (*Manuel de l'observateur au microscope* p. 18) zugethan. Dagegen giebt Nobert (Poggendorff's *Annalen*. 1846. S. 185) der Beleuchtung durch parallele Strahlen den Vorzug, und ebenso Schleiden (*Grundzüge der wissenschaftl. Botanik*, Bd. 1, S. 102). Nach Pritchard (*Micrographia* p. 186) endlich sollen schwierige Probeobjecte nur bei divergirendem Lichte gut gesehen werden können. Schon aus diesem Widerspruche der Meinungen darf man schliessen, dass keine der drei genannten Beleuchtungsweisen einen ausschliesslichen Vorzug verdient. Auch wird jeder Beobachter finden, dass, wenn man auch bei parallel auffallendem, wie bei divergirendem oder convergirendem Lichte ziemlich gut sieht, die sehr mühsam wahrnehmbaren Einzelnheiten eines Objectes sich nur bei einer bestimmten relativen Richtung der Strahlen am besten darstellen, diese Richtung aber nicht durchaus die nämliche für alle Objecte sein darf.

durchsichtige Objecte in einem zu stark erhellten Gesichtsfelde sich befinden, werden sie ganz oder theilweise unsichtbar in Folge der Irradiation auf der Netzhaut. Jedes Object verlangt deshalb eine für dasselbe passende Intensität der Beleuchtung. Bei manchen undurchsichtigen Objecten kann ein ganz concentrirtes Licht nöthig sein, für die Mehrzahl aber gilt die Regel, dass in dem Maasse, als ein Object oder Theile desselben schwerer erkennbar sind, das Gesichtsfeld weniger beleuchtet sein darf.

205 Gehen wir von den entwickelten Grundsätzen aus, so ist es klar, dass der Beleuchtungsapparat folgende Haupterfordernisse in sich vereinigen muss:

1) Das Licht muss er in allen Richtungen auf das Object fallen lassen, dabei aber muss er eine solche Einrichtung haben, dass seine Axe wiederum mit Sicherheit in die optische Axe des Gesammtinstrumentes gebracht werden kann.

2) Er muss mit den Mitteln ausgestattet sein, um sowohl parallele als divergirende und convergirende Strahlen zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes anzuwenden, je nachdem die besonderen Umstände und die Art des Objectes dies verlangen.

3) Er muss eine willkürliche Verstärkung und Mässigung des Lichtes zulassen.

Untersuchen wir jetzt, wie diesen drei Haupterfordernissen genügt werden kann.

206 Der erste und wichtigste Bestandtheil jedes Beleuchtungsapparates ist der Spiegel. An manchen Mikroskopen ist nur ein Hohlspiegel angebracht; bei anderen ist der Spiegel auf der einen Seite concav, auf der anderen eben. Die Vereinigung beider Spiegelarten verdient sicherlich den Vorzug. Bei geringen Vergrösserungen wird man am besten mit parallelem Lichte beobachten. das durch einen ebenen Spiegel reflectirt wird. Ein solcher Spiegel ist auch nöthig, wenn ein Hohlspiegel am Objective zur Reflexion des auffallenden Lichtes verwendet wird, es müsste denn die Krümmung des ersten Hohlspiegels so gering sein, dass derselbe ein Bündel convergirender Strahlen darauf reflectirt, in welchem Falle aber seine Brennweite für andere gleich zu besprechende Zwecke wieder zu gross sein würde.

Beide Spiegel können von Glas sein. Allerdings wirkt dann die vordere sowohl als die hintere Fläche reflectirend; da aber hier keine Bilder von Gegenständen reflectirt werden, sondern nur das Bild einer ganzen erleuchteten Fläche, so entsteht durch die zweite Reflexion keine Verwirrung. Ueberdies ist das durch den Metallspiegel reflectirte Licht meistens weniger hell und weiss, und es lohnen sich die höheren Kosten solcher Spiegel durchaus nicht, wie mich die Erfahrung gelehrt hat. Nur

Digitized by Google

zu einem bestimmten Zwecke, auf den ich später noch zurückkomme, wird ein ebener Metallspiegel erfordert, wenn man nämlich das Bild einer entfernten Theilung als Mikrometer im Gesichtsfelde festhalten will. Mit Vortheil kann dann auch ein reflectirendes Prisma statt eines Spiegels benutzt werden. Da jedoch ein solches Prisma nicht zugleich mit einem Hohlspiegel in Verbindung gebracht werden kann, so scheint mir eine solche Vertauschung weniger zweckmässig zu sein.

Die Form des ebenen Spiegels ist gleichgültig; der Hohlspiegel muss natürlich rund sein. Was die Grösse betrifft, so ist ein grösserer Durchmesser von 10 bis 15 Centimeter, falls nur das Mikroskop mit den nöthigen Blendungen versehen ist, nicht gerade schädlich, aber doch überflüssig, weil ja immer nur ein kleiner Theil der reflectirten Strahlen wirklich nutzbar verwendet wird. Mir sind keine Fälle bekannt, wo der Spiegel mehr als 5 Centimeter Durchmesser zu haben brauchte.

Die Verbindungsweise des Spiegels mit dem übrigen Apparate ist durchaus nicht gleichgültig. Es versteht sich von selbst, dass er unter verschiedenen Winkeln muss gestellt werden können, wenn er das auffallende Licht auf das Object reflectiren soll. Wie schon erwähnt, muss er aber das Licht nicht blos senkrecht, sondern in allen Richtungen auf das Object reflectiren, und er muss dann wiederum auf zuverlässige Weise in jene Stellung zurückgebracht werden können, welche man als die normale ansehen darf, wo nämlich der Mittelpunkt des Spiegels in der Axe des ganzen Mikroskopes liegt. Bei der letztgenannten Stellnng fällt das Licht gleichmässig anf alle Theile der Fläche, in welcher das Object befindlich ist, und das ganze Bild tritt am deutlichsten hervor, weil gleiche Lichtmengen an allen Rändern des Objectes vorbeigehen; eine schief auffallende Beleuchtung braucht man aber blos dann anzuwenden, wenn man das Bild als Ganzes in Augenschein genommen hat und nun zur Untersuchung seiner schwerer wahrnehmbaren Einzelnheiten übergeht.

Um das Licht in verschiedenen Richtungen auf das Object leiten zu können, ist es nicht gerade nöthig, dass der Spiegel nach allen Richtungen beweglich ist, was auch schwer mit der Einrichtung zur genauen Centrirung zu vereinigen wäre; zudem ist das auch überflüssig, weil das Object selbst in einer Ebene sich herum bewegen lässt und seine verschiedenen Ränder dem Lichte darbieten kann. Es genügt deshalb vollkommen, wenn der Spiegel eine Seitenbewegung ausführt, so dass die optische Axe des Mikroskopes immer in der Drehungsebene verbleibt, in welcher die Bewegung stattfindet.

Der hierzu erforderliche mechanische Apparat gestattet mancherlei Modificationen, deren Aufzählung nicht hierher gehört. Zur Erläuterung des Angeführten will ich daher nur noch andeuten, dass das genannte Ziel am einfachsten erreicht werden kann, wenn man den Bügel, worin der Spiegel um seine Axe sich bewegt, an einen Querarm oder an eine

Digitized by Google

Kurbel befestigt, die sich um das eine Ende dreht, aber so, dass die Bewegung nur nach der einen Seite hin stattfinden kann, und nach der andern Seite alsbald gehemmt wird, so wie der Mittelpunkt des Spiegels sich wiederum in der optischen Axe befindet.

Zu bemerken ist übrigens noch, dass der Objecttisch ausdrücklich dazu eingerichtet sein muss, wenn die beleuchtenden Strahlenbündel in einer sehr schiefen Richtung das Object erreichen sollen. Hat der Objecttisch eine zu grosse Dicke und ist die Oeffnung in demselben zu klein, so werden, wie leicht einzusehen, sehr schief einfallende Strahlenbündel das Object nicht erreichen können. Mancherlei theils mechanische, theils optische Hülfsmittel, welche auf die Erreichung dieses Zieles abzwecken, sollen im dritten Bande aufgeführt werden.

Zu den Erfordernissen einer guten Beleuchtung gehört es nicht, dass der Spiegel auf und nieder bewegt werden kann, um den Abstand zwischen dem Objecttische und dem Spiegel zu verändern. Ist der Objecttisch, wie es doch wünschenswerth ist (§. 166), unbeweglich, dann ist es zweckmässiger, auch den Spiegel stets in der nämlichen Höhe zu fixiren, und die Verstärkung oder Verminderung der Lichtintensität, die man durch eine Ortsveränderung zu erreichen suchen könnte, nicht durch den Spiegel, sondern durch andere Mittel herbeizuführen.

207 Die zweite Anforderung an einen Beleuchtungsapparat geht dahin, dass den zur Beleuchtung dienenden Strahlen, je nachdem die Umstände und die Art des Objectes es verlangen, eine parallele, convergirende oder divergirende Richtung ertheilt werden kann. Was früher über den Gang der Strahlen durch Linsen mitgetheilt worden ist (§§. 39 bis 45), macht es ersichtlich, dass man für diesen Zweck die Wahl zwischen verschiedenen Mitteln hat. Am einfachsten und zweckmässigsten ist es, wenn man zwischen den Spiegel und den Objecttisch eine Sammellinse bringt. Am liebsten wird man dazu eine planconvexe Linse von nicht zu grosser Brennweite, etwa von 1 bis 1,5 Centimeter benutzen, die mit der platten Oberfläche nach aufwärts sieht, um die Aberration zu verkleinern. Der Durchmesser dieser Linse braucht nicht zu klein zu sein, da man es immer in der Gewalt hat, ihre Oeffnung durch die alsbald näher zu beschreibenden Mittel nach Willkür zu verkleinern.

Um mit Hülfe dieser Linse und des Spiegels den Lichtstrahlen die verschiedenen entsprechenden Richtungen verschaffen zu können, ist noch nöthig, dem Hohlspiegel eine solche Krümmung zu geben, dass sein Brennpunkt mit dem vorderen Brennpunkte der Linse zusammenfallen kann. Durch die folgenden Figuren sollen die wichtigeren Stellungen dieses Beleuchtungsapparates erläutert werden.

In Fig. 116 ist der Spiegel *AB* mit seiner ebenen Fläche nach aufwärts gekehrt. Die parallel auffallenden Strahlen *ab* und *cd* werden

nach der Linse *CD* reflectirt und vereinigen sich dann im Brennpunkte *p*. Befindet sich das Object in der Ebene *rv*, so kann es gerade in den Brennpunkt des Beleuchtungsapparates gebracht werden. Befindet es

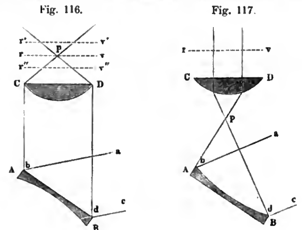


Fig. 116. Fig. 117.

sich dagegen in einer der Ebenen *r'v'* oder *r''v''*, so treffen im ersteren Falle divergirende, im zweiten Falle convergirende Strahlen auf dasselbe. Es ist aber klar, dass man das nämliche Ziel erreicht, wenn man statt des Objectes die Linse verrückt. Man kann ferner aus der Figur entnehmen, dass man durch Höher- oder Tieferstellen der Linse die Stärke des divergirenden und convergirenden Lichtes vermehren und vermindern kann, ohne dass der Winkel, unter welchem die Strahlen einfallen, dadurch eine Veränderung erfährt.

Kehrt man den Hohlspiegel aufwärts (Fig. 117), so kann zunächst die Entfernung zwischen dem Spiegel *AB* und der Linse *CD* so eingerichtet werden, dass ihre Brennpunkte bei *p* zusammenfallen. Wir haben dann den Fall, wo ein leuchtender Punkt im Brennpunkte einer Linse befindlich ist (§. 39), und die durch die Linse *CD* gebrochenen Strahlen werden parallel sein. Das Gesichtsfeld *rv* wird somit durch concentrirtes paralleles Licht erleuchtet, dessen Stärkegrad vom Verhältniss der Brennweite des Spiegels zu jener der Linse abhängt. Ist die letztere z. B. viermal kleiner als die erstere, dann ist der Durchmesser des auf das Gesichtsfeld treffenden Lichtbündels auch viermal kleiner, als jenes auf den Spiegel fallenden, und folglich ist die Intensität des Lichts im Gesichtsfelde 16 Mal grösser. — Hat der Spiegel, wie es bei vielen Mikroskopen der Fall zu sein pflegt, eine längere Brennweite als hier angenommen wurde, so kann man diese Entfernung mittelst einer zweiten Linse zwischen der ersten und dem Spiegel verkürzen.

Bei Aufwärtskehrung des Hohlspiegels kann ferner, wie in Fig. 118, die Entfernung der Linse vom Spiegel mehr betragen als die Summe der

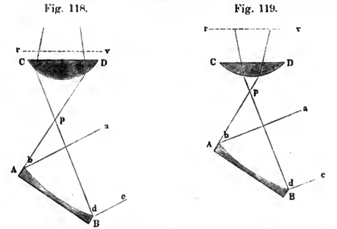


Fig. 118. Fig. 119.

beiden Brennweiten. In diesem Falle befindet sich ein leuchtender Punkt (hier der Brennpunkt p des Spiegels) ausserhalb des Brennpunktes der Linse, und die durch letztere gebrochenen Strahlen, welche das Feld rv beleuchten, sind deshalb convergirend, und zwar um so mehr, je weiter die Linse vom Brennpunkte p entfernt wird. Bei solcher Stellung entspricht die Vereinigung des Spiegels mit der Linse einem einzelnen Hohlspiegel mit entfernterem Brennpunkte und der Apparat kann gleich einem solchen angewendet werden, wenn beim Gebrauche von Hohlspiegeln zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte bereits concentrirtes convergirendes Licht auf dieselben fallen soll, weil das parallele Licht des Planspiegels nicht ausreichen würde.

Endlich werden die Strahlen bei Aufwärtskehrung des Hohlspiegels divergirend, wenn der Abstand des Spiegels von der Linse, wie in Fig. 119, die Summe beider Brennweiten nicht erreicht. Der Grad der Divergenz aber kann nach Willkür vergrössert oder verkleinert werden, indem man die Linse höher oder niedriger stellt.

Man sieht, dass man es mit einem solchen Beleuchtungsapparate ganz in seiner Gewalt hat, den Strahlen nach Willkür die relative Richtung zu verschaffen, welche der Art und der Form der Objecte, die dadurch sichtbar gemacht werden sollen, am besten entspricht. Wenn man während des Gebrauchs nicht immer genöthigt sein will, nach der Entfernung zu suchen, in welche die Linse gebracht werden muss, um den Lichtstrahlen eine bestimmte Richtung zu verschaffen, so ist es zweckmässig, man bringt an dem zu ihrem Auf- und Niederbewegen dienenden Apparate zweierlei Zeichen an: a) für die Stellung, wo ihr vorderer Brennpunkt mit jenem

des Spiegels gerade zusammenfällt; h) für die Entfernung, in welche sie kommen muss, wenn ihr gegenüberliegender Brennpunkt auf ein auf dem Objecttische befindliches Object fallen soll, wobei auf die Dicke der gewöhnlich dabei benutzten Glasplättchen Rücksicht zu nehmen ist. Natürlich gelten diese Bestimmungen nur für Benutzung des Tageslichtes; bei künstlichem Lichte müssen die Abstände etwas modificirt werden, falls nicht dessen divergirende Strahlen vorher in parallele umgewandelt wurden.

Was bereits vom Spiegel gesagt wurde, gilt auch von der in Frage stehenden Linse, dass nämlich in der normalen Stellung ihr Mittelpunkt in der optischen Axe des ganzen Mikroskopes liegen muss, und dass sie zugleich eine seitliche Bewegung besitzen muss, damit auch schief auffallende Strahlen von verschiedener relativer Richtung und von verschiedenem Concentrationsgrade zur Beleuchtung benutzt werden können.

Eine Linse mit der genannten Brennweite ist allerdings in den meisten Fällen ausreichend. Doch ist es gut, wenn der Apparat so eingerichtet wird, dass diese Linse mit anderen Linsen oder Linsensystemen von kürzerer Brennweite vertauscht werden kann, weil diese gestatten, die Strahlen noch stärker convergirend oder divergirend zu machen, und weil viele schwer wahrzunehmende Einzelnheiten an sehr durchsichtigen Objecten um so besser hervortreten, wenn das Gesichtsfeld durch stärker divergirende Strahlen beleuchtet wird. Dies erklärt sich von selbst aus dem, was über den Einfluss schief einfallenden Lichtes im Allgemeinen gesagt worden ist.

Durch diese Linse werden nicht blos verschiedenartig gerichtete 208
Strahlen auf das Object geleitet, durch sie kann auch die dritte der oben aufgestellten Forderungen erfüllt werden, nämlich die Intensität des Lichtes zu vermehren und zu vermindern. Doch darf man nicht den Hauptzweck hierin finden; denn wenn durch Auf- und Niederbewegen der Linse der Concentrationszustand des Lichtes, welches von einem Hohlspiegel kommt, verändert wird, dann erleidet gleichzeitig auch die relative Richtung der Strahlen eine Aenderung.

Das eigentliche Ziel, nämlich die Regulirung der Lichtstärke, muss noch durch ein für sich bestehendes Mittel erreicht werden. Dieses Mittel besteht darin, dass ein Diaphragma in die Bahn der Strahlen kommt, so dass nur ein Theil des Strahlenbündels auf das Object fällt und das Gesichtsfeld erleuchtet. Für die Beobachtung ist es nicht gleichgültig, welchem Theile des Strahlenkegels auf diese Weise der Weg versperrt wird. Die Strahlen des divergirenden und convergirenden Lichtes werden das Gesichtsfeld in einer um so schieferen Richtung erreichen, je näher dem Rande der Beleuchtungslinse der Theil gelegen ist, von dem sie kommen. Hat nun ein Mikroskop ein Diaphragma, wodurch ein grösserer oder

kleinerer Theil der Randstrahlen abgeschnitten wird, so beschränkt sich die Wirkung eines solchen Diaphragma nicht auf Schwächung des Lichtes, sondern durch dasselbe werden ausserdem auch jene Beleuchtungsstrahlen weggenommen, die, wie früher nachgewiesen, zur Wahrnehmung mancher Einzelnheiten gerade das Meiste beitragen. Andererseits treten manche Objecte wieder am besten hervor, wenn sie durch Strahlen beleuchtet werden, die von einem nahe der Axe gelegenen Theile des Beleuchtungsapparates kommen. Soll daher der Beleuchtungsapparat in dieser Hinsicht allen Forderungen genügen, so muss er mit zweierlei Arten von Diaphragmen ausgestattet sein: 1) mit solchen, wodurch ein grösserer oder kleinerer Theil der peripherischen Strahlen abgeschnitten wird; 2) mit solchen, wodurch ein mehr oder weniger grosser Theil der centralen Strahlen behindert wird, das Gesichtsfeld zu erreichen.

Die erstere Art von Diaphragmen ist schon seit langer Zeit in Gebrauch, und über ihren Nutzen ist man im Allgemeinen einig. Die mancherlei Modificationen derselben betreffen ihre Form, so wie die Stelle, wo sie angebracht werden. Oftmals haben sie die Form einer sich drehenden Scheibe, manchmal auch die Form einer verschiebbaren Platte, und in beiden Fällen sind mehrere Oeffnungen von verschiedener Grösse daran angebracht, durch welche ein mehr oder weniger grosses Lichtquantum tritt. Andere Optiker geben den nicht beweglichen Diaphragmen den Vorzug, die sich weder drehen noch verschieben lassen, und deren Oeffnungen immer genau in der optischen Axe liegen. Eine Aenderung der Menge des zugelassenen Lichtes wird bei ihnen auf verschiedene Art bewirkt: entweder man wechselt mit Diaphragmen von verschiedenartiger Oeffnung; oder man macht die Oeffnung durch mechanische Mittel weiter oder enger; oder endlich das Diaphragma wird auf und nieder bewegt, so dass bei niedriger Stellung um so mehr Licht abgehalten wird, wenn ein convergirendes Lichtbündel zur Beleuchtung dient, wogegen das Umgekehrte stattfindet, wenn das Lichtbündel aus divergirenden Strahlen besteht.

Das Diaphragma kann an verschiedenen Stellen angebracht werden, zwischen der Lichtquelle und dem Spiegel, oder zwischen diesem und der Beleuchtungslinse, oder dicht unter dem Objecttische, also zwischen diesem und der Beleuchtungslinse. Alle diese verschiedenen Stellungen des Diaphragma entsprechen mehr oder weniger vollkommen dem beabsichtigten Zwecke. Soll man aber zwischen ihnen wählen, so entscheidet Ein Umstand zu Gunsten der drehbaren oder verschiebbaren mit Oeffnungen versehenen Diaphragmen: bei solcher Stellung derselben zwischen Object und Licht, wobei der die Oeffnung begrenzende Rand einen Halbschatten ins Gesichtsfeld wirft, sind schwer wahrnehmbare Einzelnheiten eines Objectes oftmals besser wahrnehmbar, als wenn sich die Oeff-

Digitized by Google

nung gerade in der Mitte befindet. Die letztere Stellung wird freilich verlangt, wenn ein ganzer Gegenstand von einiger Grösse recht gut übersehen werden soll. In dieser Beziehung wirkt die excentrische Stellung des Spiegels und der Beleuchtungslinse ganz gleich wie diese Stellung der Diaphragmaöffnung. Eine solche Stellung muss stets die Ausnahme bleiben und niemals darf sie zu Anfang einer Untersuchung in Anwendung kommen; der geübte Beobachter wird aber oftmals darin das Mittel finden, dasjenige mit Leichtigkeit zur Ansicht zu bringen, was sich bei jeder centrischen Beleuchtung nur undeutlich oder selbst gar nicht darstellt. Hieraus folgt zugleich, dass das bewegliche Diaphragma am passendsten in kleiner Entfernung unterhalb des Objecttisches angebracht wird. Scheibenförmige Diaphragmen, die nicht herumgedreht werden sollen, deren Oeffnung vielmehr immer in der Axe des Mikroskopes verbleibt, bringt man dagegen am besten dergestalt in die Oeffnung des Objecttisches, dass ihre obere Fläche mit des letzteren Fläche in gleichem Niveau liegt. Die kleine Oeffnung des Diaphragma bezeichnet dann sogleich den Platz, worüber das Object gelegt werden muss. Uebrigens können auch diese scheibenförmigen Diaphragmen, deren jedes mit Oeffnungen von verschiedener Grösse ausgestattet ist, zum Höher- und Tieferstellen eingerichtet werden, entweder durch einen damit ein Ganzes ausmachenden Cylinder, der sich in der Oeffnung des Objecttisches auf und nieder schiebt, oder durch einen daran befestigten kleinen Hebel, oder auf sonst eine Weise.

Die zweite Art von Diaphragmen, welche die mittleren Strahlen abhalten, so dass nur eine mehr oder weniger grosse Menge Randstrahlen ins Gesichtsfeld gelangt, ist ebenfalls in mehrfachen Modificationen ausführbar. Im Allgemeinen können sie aus einer gewissen Anzahl kreisförmiger kleiner Scheiben bestehen, die aus einer undurchsichtigen und geschwärzten Masse gebildet werden, und eine verschiedene Grösse etwa von 1 bis 6^{mm} haben. Diese kleinen Scheiben können an die dünnen Arme eines horizontal sich herumdrehenden Rädchens befestigt werden, oder, was noch besser ist, man klebt sie der Reihe nach auf einen Glasstreifen, jedoch mit hinreichend grossen Interstitien, dass nach Bedarf Lichtbündel ganz ungehindert durchgehen können. Erlaubt es die übrige Einrichtung des Beleuchtungsapparates, so kann man auch statt mehrerer solcher Scheiben eine einzelne benutzen, die sich auf- und abwärts bewegen lässt und um so mehr mittlere divergirende Strahlen abhält, je höher sie gestellt wird. Es hat diese Einrichtung vor der vorhergenannten den Vorzug, dass man beim Abwärtsbewegen der Scheibe allmälig und nach einander alle Beleuchtungsgrade durchmacht. Zu dem Ende muss sich die Scheibe unten auf ein verticales Stäbchen mit einem Querarm stützen, der in einer seitlichen Spalte eines unter der Beleuchtungslinse angebrachten Rohres auf- und abgleitet oder sonst auf eine

entsprechende Weise bewegt wird. Immer aber sollte dieser kleine Apparat dergestalt eingerichtet sein, dass er, wenn man es wünscht, ganz weggenommen werden kann.

Ein einfaches Mittel, um concentrirtes Licht schief auf das Object hinzuleiten, bietet sich darin, dass auf die obere Fläche der Linse des Beleuchtungsapparates eine gleich grosse schwarze Scheibe gelegt wird, von deren Rande ein kleiner Theil abgeschnitten worden ist. Der Erfolg wird um so entschiedener eintreten, je kürzer die Brennweite der Linse oder des Linsensystems und je grösser der Oeffnungswinkel ist.

209 Ein Beleuchtungsapparat mit doppeltem Spiegel, einer planconvexen Linse und den beiderlei Arten von Diaphragmen, die alle nach den eben entwickelten Grundsätzen hergerichtet sind und in gehöriger Verbindung mit einander stehen, dürfte wohl zu den meisten mikroskopischen Untersuchungen vollkommen ausreichen. Es lässt sich aber nicht läugnen, dass die damit bewirkte Beleuchtung keine aplanatische ist. Schon Brewster und Dujardin hielten aber die aplanatische Beschaffenheit für eine unerlässliche Forderung und waren der Ansicht, dass in dieser Beziehung der Beleuchtungsapparat gleich vollkommen eingerichtet sein müsse, als der übrige optische Theil des Mikroskopes. Auch weiss man, dass durch einen nichtaplanatischen Beleuchtungsapparat die Bilder nicht ganz so scharf hervortreten, als durch einen solchen, der beide Aberrationen möglichst verbessert. Eine andere Frage ist es aber, ob dieser Verbesserung ein so bedeutender Einfluss zukommt, dass wir dadurch in den Stand gesetzt werden, an einem Objecte Einzelnheiten wahrzunehmen, die bei gewöhnlicher Beleuchtung durch das nämliche Mikroskop nicht zu sehen wären? Erfahrungsgemäss lässt sich meines Erachtens auf diese Frage eine bejahende Antwort nicht mit Sicherheit geben. Mir ist keine Beobachtung bekannt, die man blos bei Benutzung eines aplanatischen Beleuchtungsapparates auszuführen im Stande wäre. Den schmalen Lichtsaum um die Ränder der Objecte, der bei Benutzung eines aplanatischen Beleuchtungsapparates verschwinden soll, sieht man auch bei diesem immer, wenn das Licht gehörig gemässigt ist. Vergeblich wird man auch versuchen, diesen Lichtsaum zum Verschwinden zu bringen, denn er ist eine Interferenzerscheinung, die gerade am besten für den Aplanatismus der Bilder zeugt. Später, wenn ich von den nach diesem Principe eingerichteten Beleuchtungsapparaten handle, werde ich auch auf diesen Gegenstand zurückzukommen Veranlassung finden.

Hier will ich deshalb nur noch andeuten, dass bei der oben besprochenen Einrichtung eine Verbesserung der Aberrationen durch eine Linsenvertauschung sich herbeiführen lässt, entweder mit einem Doublet von gewöhnlicher Zusammensetzung aus zwei planconvexen Linsen, oder mit

einem aplanatischen Herschel'schen Doublet, oder mit einem aplanatischen Linsensysteme.

Ueber die Beleuchtung durch homogenes oder monochromatisches Licht kann ich hier füglich weggehen; denn wenn man darin auch einen Versuch zur Verbesserung erkennen muss, wovon später noch ausführlicher die Rede sein soll, so hat sich doch die Brauchbarkeit dieser Beleuchtungsart bis jetzt wenigstens noch durchaus nicht bewährt.

Zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte durch auffallendes Licht 210
sind bei unseren neueren Mikroskopen keine künstlichen Mittel nöthig, um das Licht zu verstärken, so lange man nur mässige Vergrösserungen von 60 bis 70 Malen benutzt, weil dann die Oeffnungen der Objectivsysteme noch weit genug sind, dass ein Lichtbündel von hinreichender Helligkeit hindurchtritt. Da nun die meisten Beobachtungen dieser Art bei so geringen Vergrösserungen vorgenommen werden, so ist man jetzt weit weniger, als es früherhin der Fall war, in die Notbwendigkeit versetzt, concentrirtes Licht zur Untersuchung undurchsichtiger Objecte zu verwenden. Es giebt übrigens verschiedene Mittel, die diesem Zwecke entsprechen, wenn auch ihre Wirkung nicht durchaus die nämliche ist.

Zunächst kann eine zur Seite des Objecttisches oder auch auf dem Objecttische selbst befindliche convexe Linse benutzt werden, oder statt ihrer ein dreiseitiges Prisma mit zwei gewölbten Oberflächen, das den nämlichen Zweck erfüllt, aber sonst gar keinen Vorzug verdient*). Die Linse wie das Prisma müssen ziemlich gross sein, damit sie ein breites Lichtbündel durchlassen, und durch eine passende mechanische Einrichtung müssen sie in die gehörige Richtung und in die gehörige Entfernung vom Objecte kommen, so dass auf letzteres die nöthige Menge concentrirtes Licht geworfen wird. Ist das Object so klein, dass es nur einen Abschnitt des Gesichtsfeldes einnimmt, dann wird es ausserdem noch nöthig, dass das übrige Gesichtsfeld eine passende Färbung hat, bei der die Farbe des Bildes am meisten absticht. Hierzu eignen sich in den meisten Fällen ganz gut schwarze oder weisse Täfelchen, auf welche die Objecte zu liegen kommen; bisweilen lassen sich auch andere Farben mit Vortheil anwenden. Immer ist es räthlich, dass diese Täfelchen matt sind, weil eine glänzende Oberfläche der Wahrnehmung sehr hinderlich ist.

*) Mir scheint es praktisch weit weniger ausführbar zu sein, wenn Naegeli und Schwendener (*Das Mikroskop.* I. 96) die Linse oder das Prisma durch einen paraboloidischen Reflector ersetzen wollen, der mit dem unteren Ende des Objectives, der Lichtquelle gegenüber, in feste Verbindung gebracht wird. Da würde der später noch zu erwähnende bewegliche Spiegel von Ross den Vorzug verdienen. Alle solche Reflectoren werden durch eine einfache Linse von ziemlich grossem Durchmesser überflüssig gemacht.

Ein anderes Verfahren besteht darin, dass man durchbohrte concave Metallspiegel nimmt, die mit dem Objective dergestalt verbunden werden, dass ihre ausgehöhlte dem Objective zugekehrte Fläche durch den darunter befindlichen Spiegel ein Lichtbündel empfängt und dieses auf das Object reflectirt. Muss die Beleuchtung nicht sehr stark sein, dann ist die flache Seite des Spiegels dazu ausreichend. Zu stärkerer Beleuchtung dient der Concavspiegel, der, wenn sein Brennpunkt unter den Objecttisch fällt, im Verein mit der Linse so angewendet wird, dass ihre Stellung wie in Fig. 118 ist. Diaphragmen sind bei dieser Beleuchtungsart nicht blos nutzlos, sondern sogar schädlich, und müssen deshalb weggeschafft werden.

Auch hier muss unter das Object ein Täfelchen mit passender Färbung kommen, nicht blos damit die Farbe des Objectes durch den Gegensatz besser hervorgehoben wird, sondern auch um zu verhindern, dass keine Strahlen direct vom Spiegel auf das Objectiv kommen. Grösse, Form und Stellung dieses Täfelchens sind daher in diesem Falle nichts weniger als gleichgültig. Damit es nicht mehr Licht als nöthig ist, abhält, muss es in den beiden ersten Beziehungen ganz mit der Oeffnung des Objectives übereinstimmen, und was die vortheilhafteste Stellung anbelangt, so muss natürlich ein Täfelchen, welches so gross wie die vordere Linse des Objectives ist, immer genau in der Axe des Mikroskopes sich befinden, damit alle überzähligen Lichtstrahlen abgehalten werden. Es ist daher am besten, wenn man ein solches Täfelchen mittelst einer einfachen Vorrichtung genau mitten in die Oeffnung des Objecttisches bringt, und man kann jene Diaphragmen benutzen, die im Allgemeinen zur Abhaltung der mittleren Strahlen bestimmt sind und von denen im vorigen Paragraphen die Rede war. Fehlt dem Mikroskope eine derartige Einrichtung, so kann man runde Glastäfelchen nehmen, die in die Oeffnung des Objecttisches passen, und in deren Mitte unten eine Kartenblattscheibe, die schwarz oder weiss gefärbt ist, festgeklebt wird. Bei dieser Einrichtung kann das Object dann frei bewegt werden, ohne dass man Gefahr läuft, einen Theil des Objectives dem Zutritte von Lichtstrahlen bloszustellen.

Jede dieser beiden Beleuchtungsarten bei undurchsichtigen Objecten hat eigenthümliche Vorzüge und Nachtheile; man kann daher nicht ohne Weiteres die eine an die Stelle der anderen setzen Dies erhellt schon daraus, dass bei der ersteren das Licht immer seitlich einfällt, wodurch starke Schlagschatten entstehen, während bei der letzteren das Licht mehr gleichmässig über die ganze Oberfläche vertheilt wird und die Schatten unbedeutend sind. So wird also in manchen Fällen die eine, in anderen die andere Beleuchtungsweise den Vorzug verdienen. Ein kleines Insect z. B. wird sich als Ganzes am hübschesten zeigen, wenn es mit einem reflectirenden Spiegelchen beleuchtet wird; um aber die

kleinen Härchen und Knötchen an seiner Oberfläche wahrzunehmen, dazu wird sich das seitlich auffallende Licht einer Linse weit besser eignen.

Letztere hat auch noch darin einen Vorzug, dass ihrer Benutzung durch die Grösse der Objecte keine Grenzen gesetzt werden; denn bei Anwendung des kleinen Spiegels muss diese Grösse stets eine beschränkte sein, weil immer ein offener Raum übrig bleiben muss, damit das Licht vom grossen Spiegel hinkomme. Die reflectirenden kleinen Spiegel haben ihrerseits den Vorzug, dass sie auch noch bei stärkeren Vergrösserungen anwendbar sind; denn wenn das Objectiv dem Objecte zu sehr genähert ist, so werden die durch die Beleuchtungslinse gehenden Strahlen aufgefangen. Aus einer Vergleichung der beiden Mittel, welche zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte dienen, ergiebt sich, dass keines derselben bei einem guten und zu jeglicher Art von Untersuchung passenden Mikroskope fehlen darf.

Ausser diesen beiden seit langer Zeit bekannten Beleuchtungsmetho- 211
den bei auffallendem Lichte sind in der letzten Zeit noch andere empfohlen worden, die auf dem Principe der totalen Reflexion beruhen.

Erstlich hat Riddell (*American Journ. of Sc. and Arts* 1853. *June* p. 69) dazu einen gläsernen Ring benutzt, dessen obere Seite flach ist, während nach unten der äussere wie der innere Rand unter einem Winkel von 45° geschliffen sind, so dass diese Ränder in der Verlängerung auf einander stossen würden. Ein solcher Glasring stellt daher ein ringförmiges Prisma vor, welches die von unten eintretenden Strahlen wiederum nach unten reflectirt. Zur Beleuchtung bei auffallendem Lichte wird dieser Glasring über das Objectiv gebracht, und letzteres dient dann zugleich dazu, die Strahlen auf dem Objecte zu concentriren.

Liegt auch dieser Methode ein geistreicher Gedanke zu Grunde, so steht doch nicht zu erwarten, dass sie jemals allgemeinen Eingang finden wird. Das Hauptbedenken liegt darin, dass der Glasring immer einen mehr oder weniger grossen Theil vom Rande des Objectives selbst bedecken und somit dessen Oeffnung verkleinern muss, wodurch die Lichtstärke bedeutend abnimmt. Ausserdem ist auch die technische Herstellung so kleiner Glasringe, als für die stärker vergrössernden Systeme erforderlich sind, in der That sehr mühsam.

Nicht minder geistreich und dabei praktisch viel weiter greifend ist Wenham's (*Quarterly Journ. of microsc. Sc.* 1856, *July*, Nro. XVI. *Transactions* p. 55) Idee, die totale Reflexion an der oberen Fläche des Deckplättchens zu bewirken, wie es auf die einfachste Weise durch Fig. 120 (a. f. S.) erläutert wird. Hier stellt *AB* ein von der Seite gesehenes Objectglas dar, an welchem durch Canadabalsam ein rechtwinkeliges Prisma *cde* angeklebt ist; darüber liegt das Deckplättchen *ab*, und das bedeckte Object befindet sich in *o*. Letzteres darf bei dieser

Methode niemals trocken, d. h. von Luft umgeben sein, sondern zwischen dem Deckplättchen und dem Objectglase muss sich etwas Flüssigkeit, am liebsten Terpentinöl oder Canadabalsam befinden, weil sonst die Strahlen natürlich schon auf einer der Grenzflächen total reflectirt werden würden, bevor sie noch bis zur oberen Fläche des Deckplättchens gelangten. Hat aber die ganze durchsichtige Masse vom Prisma bis zum Deckplättchen hin einen ziemlich gleichen Brechungsindex, dann wird ein Strahlenbündel, welches auf eine der dem rechten Winkel des Prisma angehörigen Seiten senkrecht trifft, seinen Weg bis zur oberen Fläche des Deckplättchens fortsetzen und dort eine totale Reflexion erleiden, ohne dass ein Strahl zu dem darüber befindlichen Objective gelangt. Somit bleibt das Gesichtsfeld dunkel und die darin befindlichen Objecte, je nachdem sie mehr oder weniger Licht reflectiren können, werden sich mehr oder weniger erhellt darstellen. Natürlich kann man die Beleuchtung noch verstärken, wenn man das einfallende Lichtbündel convergirend macht, wozu ein Hohlspiegel, oder eine concave Linse, oder auch nach **Wenham** ein kugelförmiges dreiseitiges Prisma genommen werden kann. Noch einfacher und nach meinen Versuchen gleich zweckmässig ist es, wenn man (Fig. 121) einer der den rechten Winkel begrenzenden Seiten des Prisma selbst eine convexe Oberfläche giebt, so dass es gleichzeitig die Stelle einer concentrirenden Linse versieht.

Fig. 120.

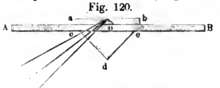
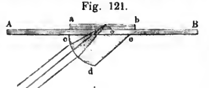


Fig. 121.



Der nämliche Zweck wird auch auf die von **H. L. Smith** (*American Journ.* 1865, p. 239) neuerdings empfohlene Weise erreicht. Derselbe benutzt ein concaves silbernes Spiegelchen und wirft damit unter einen Winkel von 45° ein convergirendes Lichtbündel auf die obere Fläche des Deckplättchens oder auf die untere Fläche der Objectivlinse.

Wenham hat noch zwei andere Methoden angegeben, mittelst deren die beleuchtenden Strahlen von allen Seiten auf das Object geworfen werden sollen, so dass dieses viel stärker beleuchtet ist, als beim Gebrauche des Prisma, wo die Beleuchtung nur von einer Seite her erfolgt. Dies Ziel hat er erreicht, indem er eine halbkugelige Linse mit seinem parabolischen Reflector verband, und dann auch durch Benutzung eines gläsernen Paraboloids. — In Fig. 122 ist AB wiederum das Objectglas und ab das Deckplättchen; DE ist der Durchschnitt des parabolischen Reflectors, und C eine halbkugelige Linse, an der ein Segment abgeschliffen ist, so dass der übriggebliebene Theil etwa einem Drittel vom Durchmesser der Kugel

entspricht. Die abgeschliffene Fläche ist schwarz gemacht, damit kein Licht direct ins Mikroskop gelangen kann. Die Krümmung der Linsenoberfläche entspricht einem Radius von ungefähr $^2/_{10}$ eines englischen Zolls. Der Gang der Strahlen ist aus der Figur deutlich genug zu entnehmen und bedarf keiner näheren Nachweisung. Dass das nämliche Ziel eben so gut durch eine einzelne parabolische Linse erreichbar ist, deren Spitze weggenommen wurde, ersieht man aus Fig. 123. Hier ist *C* der Durchschnitt dieses Paraboloids, dessen Unterfläche in der Mitte durch eine geschwärzte Platte *cd* bedeckt ist, die dem abgeschliffenen Theile des Paraboloids an Grösse gleichkommt, so dass die Strahlen des Spiegels nur im äusseren Glasmantel durchtreten und dessen Oberfläche erreichen können, wo sie die erste und weiterhin an dem Deckplättchen die zweite totale Reflexion erleiden.

Fig. 122.

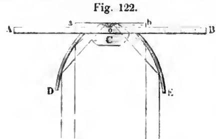
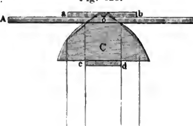


Fig. 123.



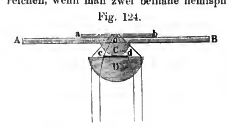
Selbstverständlich kann in diesen verschiedenen Fällen der Apparat auch eine Einrichtung bekommen, dass die Objecte nicht unmittelbar auf eine fest mit dem Prisma, mit der Linse oder mit dem Paraboloid verbundene Glasplatte gelegt zu werden brauchen, jene brechenden Körper vielmehr in besondere kurze Röhren gefasst sind, die in die Oeffnung des Objecttisches passen. Dabei ist nur immer Sorge zu tragen, dass beim Aufsetzen von Objectgläsern durch eine interstitielle Flüssigkeit, am besten durch Terpentinöl, den Strahlen ein ungehinderter Durchgang gesichert bleibt.

Die paraboloidischen Reflexionsflächen haben offenbar den Zweck, die Strahlen soviel möglich in Einem Punkte zu sammeln, was merklich weniger der Fall sein würde, wenn man sphärische Oberflächen benutzte. Es lässt sich aber nicht leugnen, dass die Anfertigung solcher Paraboloide, seien sie von Metall oder von Glas, zu den mühevollen Aufgaben gehört, und dass durch ihre Beigabe der Preis eines Mikroskopes gar sehr erhöht werden würde. Es verlohnt sich daher wohl der Mühe, zu untersuchen, ob sich das gleiche Ziel nicht durch einfachere Mittel erreichen lässt. Die Berechnung lehrt nun, dass, wenn ein Bündel paralleler Strahlen auf eine hemisphärische Glaslinse fällt, je nach dem Bre-

Digitized by Google

chungsindex des benutzten Glases nur ein Segment von 9° bis 11° die Strahlen schief genug empfängt, um nach stattgefundener Brechung unter einem Winkel von weniger denn 41° (und das ist ungefähr der Grenzwinkel für gewöhnliches Glas) auf die Oberfläche der Linse oder einer durch Canadabalsam oder Terpentin damit verbundenen Glasplatte zu gelangen. Die hierdurch erhaltene Beleuchtung ist mithin sehr schwach, zumal hierbei noch angenommen wird, die Linse sei wirklich eine Halbkugel, was doch in der Wirklichkeit sehr schwer zu erreichen ist. Die Schälchen, worin die Linsen geschliffen werden, gestatten dies nicht; die Linsen werden daher immer dem Radius der Kugel an Dicke nachstehen, und folglich wird immer jener Theil daran fehlen, wo die Strahlen am stärksten gebrochen werden. Man kann indessen dadurch das Ziel erreichen, wenn man zwei beinahe hemisphärische Linsen so wie in Fig. 124 an einander stossen lässt. Die durch die untere Linse *D* bereits convergirend gemachten Strahlen gelangen dann zur obern kleineren Linse *C* und werden dadurch noch stärker convergirend. Um die nicht hinlänglich convergirenden Strahlen auszuschliessen, wird eine schwarze Scheibe, die etwas kleiner ist als die obere Linse, zwischen beide Linsen gebracht. Das günstigste Verhältniss zwischen den Radien beider Linsen schien mir etwa wie 2 : 5 zu sein. Hat der Radius der oberen Linse 4, jener der unteren 10^{mm}, dann können die Objecttafel und das Deckplättchen zusammen 2 bis $2{,}5^{mm}$ dick sein.

Fig. 124.



Noch vortheilhafter als diese Verbindung würde jene sein, wo die unterste Linse, wie in Fig. 125, ein Meniscus mit sehr schwach gekrümmter oberer Fläche wäre, so dass ebenfalls die Strahlen, welche auf den Randtheil treffen, in die Luft kommen und dann die zweite Linse erreichen. Nur steht zu bezweifeln, dass diese Verbesserung so weitgreifend sein werde, um den grösseren Kostenaufwand zu verlohnen.

Fig. 125.



Die praktische Brauchbarkeit dieser verschiedenen Methoden im Vergleich mit den früher beschriebenen beschränkt sich auf eine geringere Anzahl von Fällen. Benutzt man schief auffallendes, durch eine Linse concentrirtes Licht, dann kommt die Grösse des Objectes nicht in Betracht, und mit reflectirenden Hohlspiegeln können Objecte noch beleuchtet werden, die den Durchmesser der untersten Linse des Objectivsystems erreichen; dagegen sind die zuletzt betrachteten Methoden nur dann anwendbar, wenn die im Gesichtsfelde befindlichen Objecte sehr klein sind, da es klar genug ist, dass durch etwas grössere Objecte die Strahlen vom

Deckplättchen abgehalten werden, und zwar um so mehr, je dünner das benutzte Deckplättchen ist. Aus Fig. 126 und Fig. 127 ersieht man deutlich, dass wegen Gleichbleibens des Reflexionswinkels die Entfernung

Fig. 126. Fig. 127.

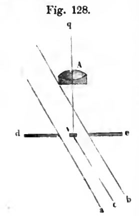
ab eine grössere sein muss, wenn das in diesen Figuren dargestellte Deckplättchen dicker ist. Für sehr kleine Objecte, wie Diatomeen, Schüppchen von Schmetterlingsflügeln u. s. w., wenn sie ziemlich ausgebreitet im Gesichtsfelde liegen, ist aber diese Beleuchtungsmethode eine sehr passende, und sie hat vor den übrigen den bedeutenden Vorzug voraus, dass sie gleich gut bei den schwächsten wie bei den stärksten Vergrösserungen anwendbar ist. Mit dem zuletzt beschriebenen Linsensysteme kann ich die Objecte stark genug beleuchten, dass sie bei einer 500maligen Vergrösserung beschaut werden können, und mit den vollkommeneren Einrichtungen Wenham's, wo die sphärische Aberration unbedeutender ist, werden die Objecte wahrscheinlich ein noch besseres Licht bekommen. Nur erscheinen die also beleuchteten Objecte immer einigermaassen wie in einen Lichtnebel gehüllt, so dass sie keinen so scharfen Gegensatz mit dem dunkelen Hintergrunde bilden. So verhält sich's nicht blos beim Gebrauche des Linsensystems, sondern Wenham giebt auch das Nämliche von seinen Hülfsmitteln an, und somit scheint diese Unvollkommenheit unzertrennlich von der Methode zu sein. Wahrscheinlich ist daran die Diffusion schuld, welche das reflectirte Licht in den Objecten sowohl als im umgebenden Medium erfährt, so dass unregelmässig zerstreute Lichtstrahlen nach allen Seiten geworfen werden und das umgebende Feld erleuchten. Ist aber auch diese Unvollkommenheit einigermaassen der Beobachtung hinderlich, so wird dennoch diese Beleuchtungsmethode in jenen Fällen, wo keine andere Beleuchtung möglich ist, nützliche Dienste leisten können, daher sie als eine Verbesserung der mikroskopischen Untersuchung angesehen werden darf.

Es giebt noch eine Beleuchtungsweise, die zuerst von Reade (Go- 212
ring *and* Pritchard, *Micrography* p. 227) und später auch von Carpenter (Todd's *Cyclop. of Anat. and Phys. Art. Microscope* p. 352) gelobt wurde, und die hier ihre Stelle finden mag, weil sie einigermaassen die Mitte hält zwischen den Beleuchtungen mit durchfallendem und mit auffallendem Lichte. Es wird nämlich der zur Beleuchtung bei durchfallendem Lichte erforderliche Apparat benutzt, wie denn das Verfahren überhaupt nur bei durchsichtigen Objecten anwendbar ist. Die Aehnlichkeit mit der Beleuchtung bei auffallendem Lichte liegt aber darin, dass nicht das Gesichtsfeld beleuchtet wird, sondern die Objecte selbst gleichsam lichtausstrahlend auf einem dunklen Hintergrunde gesehen werden. Es besteht diese Beleuchtungsweise darin, dass man entweder durch eine

Digitized by Google

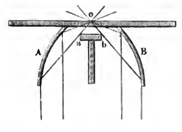
seitlich von der Axe des Mikroskopes unter dem Objecttische angebrachte Flamme, oder durch eine stark excentrische Stellung des Spiegels das Licht in ganz schiefer Richtung auf das Gesichtsfeld gelangen lässt, wobei dieses noch ganz verdunkelt erscheint, während die Strahlen verschiedene Brechungen und Reflexionen erleiden, so dass ein diffundirtes Licht durch das Mikroskop zum Auge gelangt. In Fig. 128 ist *A* die unterste Linse eines an das Mikroskop befestigten Objectivsystems, *de* der durchbohrte Objecttisch, auf dem sich ein Object *v* befindet, und *a*, *b*, *c* sind die vom Spiegel oder von der Flamme kommenden Strahlen. Hier werden *a* und *b* seitlich an der Linse vorbeigehen und nur *c* wird in der Richtung der optischen Axe *vq* reflectirt und tritt ins Mikroskop hinein. Man sieht daher die Objecte in ihren eigenthümlichen Farben, und das Gesichtsfeld ist dabei ganz schwarz. Man bekommt dadurch hübsche Bilder und sehr durchsichtige Objecte, selbst Infusorien lassen sich auf diese Weise noch ganz gut beobachten. Gleichwohl muss ich den Werth dieser Methode für wissenschaftliche Untersuchungen bezweifeln; man wird dadurch schwerlich etwas entdecken, was nicht eben so gut oder besser bei durchfallendem Lichte oder bei auffallendem Lichte gesehen werden kann. Auch ist sie, wie Mohl (*Mikrographie* S. 144) richtig hervorhebt, nur bei schwachen Vergrösserungen anwendbar, weil bei zu starker Annäherung des Objectes zum Objective das Licht, wie aus der Betrachtung der Figur ersichtlich ist, ganz oder zu einem guten Theile ins Mikroskop tritt, so dass das Gesichtsfeld dann nicht mehr verdunkelt gehalten werden kann.

Fig. 128.



Späterhin hat Wenham diese Methode noch verbessert, und namentlich hierzu empfahl er zuerst den parabolischen Reflector (Fig. 129), von dem schon oben die Rede war. Dieser Reflector *A B*, aus Spiegelmetall verfertigt und von Paraboloidform, hat die Wirkung, dass alle parallele Strahlen, welche von unten her auf seine Wandungen fallen, in dem Brennpunkte *o* sich kreuzen, woselbst das Object befindlich ist. Somit erscheint auch hier das Object in Beleuchtung auf einem schwarzen Hintergrunde. Um die Abhaltung des Lichtes noch bestimmter zu er-

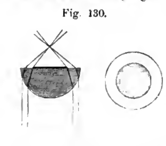
Fig. 129.



reichen, befindet sich in einiger Entfernung unter dem Objecttische eine schwarz gefärhte Scheihe *ab*.

Das nämliche Ziel lässt sich mittelst des gläsernen Paraboloids erreichen, wovon im vorigen Paragraphen die Rede war, und, wenn gleich wegen der sphärischen Aberration nicht ganz so vollkommen, mittelst einer beinahe halbkugeligen Linse (Fig. 130), deren Mitte mit einem schwarzen Scheibchen hedeckt ist, so dass nur die ganz schiefen am Rande auffallenden Strahlen zum Ohjecte kommen können. Eine solche Linse erhöht den Preis eines Mikroskopes nur unhedeutend, und darf als eine sehr nützliche Beigabe angesehen werden, da sie nicht nur bei schwachen Vergrösserungen für den genannten Zweck dienlich ist, sondern bei stärkeren auch dazu gehraucht werden kann, die Objecte hei durchfallendem Lichte, also in einem heleuchteten Gesichtsfelde zu sehen, als würden sie ringsum von sehr schief auffallenden Strahlen getroffen, wodurch manche Einzelnheiten noch deutlicher hervortreten, als wenn eine Beleuchtungslinse mit kleinem Oeffnungswinkel in Verhindung mit centralen Diaphragmen angewandt wird.

Fig. 130.



Dieser Zweck ist auch, und sogar noch vollständiger zu erreichen durch einen gläsernen Kegel (Fig. 131), den Nachet zuerst benutzt hat. Die dem Objecte zugekehrte Basis ist eine gewölbte Linsenfläche, deren mittlerer Theil durch ein schwarzes Scheibchen bedeckt wird, um hier die Strahlen abzuhalten. Das solchergestalt auf das Ohject geworfene Strahlenhündel ist natürlich am Rande gefärbt; das stört aber keineswegs hei der Beobachtung, da nur die farblosen centralen Strahlen zur Beleuchtung benutzt werden.

Fig. 131.



Neben der passenden Einrichtung des Beleuchtungsapparates selbst 213
übt auch die Art des Lichtes, welches zur Beleuchtung genommen wird, einen grossen Einfluss. Man kann das Sonnenlicht dazu benutzen, aber auch verschiedenartiges künstliches Licht. Beide haben ihre Vorzüge und Nachtheile, und es sind einige Vorsichtsmaassregeln nöthig, wenn sie mit grösstem Vortheil angewandt werden sollen.

Directes Sonnenlicht ist nur in Einem Falle gut zu benutzen, wenn nämlich undurchsichtige Objecte durch auffallendes Licht beleuchtet werden sollen. Hier muss man ihm in den meisten Fällen vor jedem anderen Lichte den Vorzug geben. Zur Beleuchtung durchsichtiger Objecte ist das Sonnenlicht unbedingt zu verwerfen, auch wenn es nach dem Vor-

Digitized by Google

schlage von Chevalier (*Die Mikroskope u. ihr Gebrauch* S. 67) durch gefärbte Gläser so geschwächt ist, dass das Ange durch die Beobachtung nicht angegriffen wird. Ich habe gleich Mohl (*Mikrographie* S. 147) gefunden, dass Probeobjecte bei solchem Lichte nicht so deutlich erkannt werden, wie bei gewöhnlichem Tageslichte. Bei schwach durchscheinenden Objecten, z. B. bei ganzen Blättern, an denen man die Bewegung des Milchsaftes wahrnehmen will, könnte man in Versuchung gerathen, die Beobachtung bei direct durchfallendem Lichte anzustellen, wie es Schultz auch wirklich empfohlen hat. Man misstraue aber stets den Resultaten einer solchen Beobachtung: das durch eine hell durchscheinende Masse fallende Sonnenlicht bewirkt durch die mannigfache Interferenz immer ein Geflimmer, und dieses wird sehr leicht für Bewegung gehalten. Auch haben unsere jetzigen Mikroskope hinreichende Lichtstärke, dass solche Beobachtungen, bei schwächeren Vergrösserungen wenigstens, bei gewöhnlichem Tageslichte vorgenommen werden können, und weiterhin werden wir auch noch verschiedene Hülfsmittel kennen lernen, mittelst deren die Durchsichtigkeit der untersuchten Gegenstände bedeutend vermehrt werden kann.

Zur Ermässigung des Sonnenlichts hat Wenham (*Quart. Journ.* 1863, *N. Ser.* XII, p. 299) gefärbte Gläser genommen, die er aber nicht unter den Objecttisch bringt, sondern auf das Ocular legt, etwa in der Weise, wie es bei den gegen die Sonne gerichteten astronomischen Fernröhren gebräuchlich ist. Bei dieser Einrichtung glaubt er einzelne Structurverhältnisse besser erkennen zu können, als bei gewöhnlicher Beleuchtung, oder als wenn die nämlichen Gläser bei Benutzung von Sonnenlicht auf den Beleuchtungsapparat zu liegen kommen. Aus eigener Erfahrung kann ich über diese Einrichtung nicht urtheilen; indessen Grosses kann ich davon nicht erwarten.

Ist nun aber auch das directe Sonnenlicht unbrauchbar, so eignet sich doch das auf die eine oder die andere Weise zerstreute oder diffus gemachte Sonnenlicht ganz vorzüglich zu mikroskopischen Untersuchungen. Auf doppelte Weise kann das Sonnenlicht in einen solchen Zustand versetzt werden: 1) Man lässt dasselbe durch halbdurchsichtige Körper gehen, die einen Theil der Strahlen absorbiren oder reflectiren, während das übrige durchtretende Licht zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes dient. 2) Man fängt das Licht auf, welches durch eine beleuchtete weisse Oberfläche reflectirt wird.

Es ist aber keineswegs gleichgültig, welches von diesen beiden Mitteln zur Beleuchtung mikroskopischer Gegenstände gewählt wird, und die Erfahrung lehrt, dass das erstgenannte Verfahren im Allgemeinen verwerflich ist. Hiervon kann man sich leicht überzeugen, wenn man ein Stück weisses Papier unter den Objecttisch des Mikroskopes bringt und von unten her mittelst des Spiegels stark durch die Sonne beleuchtet.

Das Gesichtsfeld ist dann allerdings vollkommen beleuchtet, nichts desto weniger aber sind alle durchscheinenden Objecte nur sehr unbestimmt sichtbar; denn die Lichtstrahlen erfahren beim Durchgange durch die Fasern des Papiers eine zu grosse unregelmässige Zerstreuung, so dass fast kein Strahl unverändert seinen ursprünglichen Weg fortsetzt und zur Sichtbarmachung des Objectes beiträgt. Das Nämliche tritt ein, wenn man andere halbdurchscheinende Körper, etwa eine dünne Schicht weisses Wachs oder Milch, in die Bahn der Strahlen bringt. Das Gesichtsfeld mag noch so gnt erhellt sein, dennoch wird die Beobachtung immer ganz unvollkommen ausfallen. Glas, das an einer seiner Oberflächen matt geschliffen ist, entspricht dem Zwecke allerdings besser als die genannten Körper; eine solche Oberfläche lässt sich nämlich so ansehen, als bestände sie in wechselnder Folge aus ranh geschliffenen, also diffundirenden Punkten und aus dazwischen liegenden hellen Zwischenräumen, durch welche die Strahlen in der ursprünglichen Richtung treten. — Donders (*Nederl. Lancet*, 5. Jaarg. 2. Serie p. 309) fand es sehr vortheilhaft, matt geschliffene Scheiben in das Fenster einzusetzen, dnrch welches der Mikroskopspiegel sein Licht erhält. Ich kann dies vollkommen bestätigen, namentlich wenn das Fenster nach Süden gelegen ist, wo dann die Sonne bei hellem Himmel während eines grossen Theils des Tages ins Zimmer scheint. Richtet man den Spiegel nach einer solchen Scheibe, die von hinten durch die Sonne beschienen wird, so hat man in der That eine gleich gute Beleuchtnng mit diffusem Lichte, als wenn das durch eine weisse Wolke reflectirte Sonnenlicht daranf fiele. Um sich aber anch die Benutznng des directen Sonnenlichts zu sichern, ist es gut, wenn man die matt geschliffenen Scheiben nicht permanent in den Rahmen einfügt. In dem Zimmer, worin ich zu arbeiten pflege, habe ich die Einrichtung getroffen, dass diese Scheiben in besonderen Rahmen längs der anderen durchsichtigen Fensterscheiben auf- und abgeschoben werden können, und mittelst einer über eine Rolle laufenden Schnnr lassen sie sich zur gewünschten Höhe hinaufziehen und wiederum senken. Man mnss aber aus verschiedenen matt geschliffenen Gläsern eine passende Wahl treffen, weil nur bei einem richtigen Verhältniss zwischen dem diffundirten und dem direct durchdringenden Lichte der gewünschte Erfolg erreicht wird. Dabei vergesse man nicht, dass nur Eine Glasoberfläche matt geschliffen sein darf; sind es beide, dann wirkt die Glasscheibe ganz so wie die weiter oben genannten Körper.

Wir werden hierdurch mit einer interessanten Eigenthümlichkeit der mikroskopischen Belenchtung bekannt: nur der diffus gemachte Theil des Lichtes dient zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes, und wenn das durchsichtige Object farblos ist, mnss die Farbe des Lichtes am stärksten mit jener des Objectes contrastiren, also hellweiss sein, damit die Schatten schwarz ausfallen; das bereits diffuse Licht trägt aber nichts zum eigent-

Digitized by Google

lichen Sichtbarmachen der Objecte selbst bei. Es können dazu nur solche durchfallende Strahlen dienen, die nicht unregelmässig zerstreut werden, und deshalb entspricht das von weissen Oberflächen reflectirte Licht dem Zwecke besser, als das durch halbdurchsichtige weisse Körper durchfallende Licht, da in dem ersteren gewöhnlich eine grössere Menge regelmässig reflectirter Strahlen enthalten ist, als in dem letzteren.

Unter allen das Sonnenlicht reflectirenden weissen Oberflächen verdienen zuverlässig weisse Wolken den Vorzug. Es ist schon weniger gut, wenn man den Spiegel auf den blauen unbewölkten Himmel richtet; denn wenn diese Farbe dem Auge auch sehr angenehm ist, so treten doch die feinen Einzelnheiten der Bilder dabei nicht so scharf hervor, weil der Gegensatz nicht so entschieden ist.

Brücke (*Sitzungsberichte der Kais. Akad.* 1856, Bd. 21, Hft. 2, S. 430) hat noch auf eine andere Eigenthümlichkeit aufmerksam gemacht, in deren Folge das blaue Licht des Himmels eine schädliche Wirkung haben kann. Aus den Untersuchungen von Stokes und Helmholtz nämlich hat sich ergeben, dass organische Gewebe nicht ganz frei von innerer Dispersion sind. Haben nun, wie das beim Lichte des blauen Himmels der Fall ist, die Strahlen von grosser Brechbarkeit ein starkes Uebergewicht, dann können die Objecte, durch welche das Licht dringt, selbst leuchtend werden, und dadurch nimmt die Deutlichkeit des negativen Bildes ab. Um dieser nachtheiligen Eigenschaft abzuhelfen, empfiehlt Brücke eine Lamelle Canarienglas oder Uranglas, das man leicht im Handel bekommt, auf den Objecttisch zu legen; dieses ist im Stande, nicht allein die blauen und violetten Strahlen für das Auge wegzunehmen, sondern sie auch in Strahlen von längerer Schwingungsdauer umzuwandeln. Er benutzte Täfelchen von 2 bis 3^{mm} Dicke und von mittlerer Farbe, meint aber, dass mit Vortheil solche von 3 bis 4^{mm} Dicke benutzt werden könnten. — Ich selbst habe dieses Mittel bis jetzt noch nicht versucht. Es lässt sich übrigens vermuthen, dass andere Körper, die das nämliche Vermögen besitzen, z. B. eine Auflösung von schwefelsaurem Chinin, die nämlichen Dienste leisten werden.

Sind keine Wolken am Himmel, dann ist es zweckmässig, das Sonnenlicht durch künstliche Mittel im diffundirten Zustande zu reflectiren, was auf verschiedene Weise geschehen kann. Man braucht nur den Spiegel gegen eine von der Sonne beschienene weisse Wand, gegen ein helles weisses Papier oder gegen eine andere glatte weisse Fläche zu richten. Ist das Object selbst gefärbt, dann kann es wohl zweckmässig sein, das von einer gefärbten Oberfläche kommende Licht aufzufangen. Den Spiegel kann man ferner nach Goring's Rathe mit einer Gypsplatte bedecken, oder, was fast eben so gut ist, mit einem Stück recht weissen Papiers, worauf das Sonnenlicht fällt. Varley (*Todd's Cyclop. of Anat. and Phys.* Art. Microscope p. 251) hat zu dem näm-

lichen Zwecke angerathen, den Spiegel mit einem Pulver von kohlensaurem Natron oder von weissem Glase zu bestreuen.

Alle diese Hülfsmittel sind aber nur dann am Platze, wenn das durch die Wolken diffus reflectirte Licht fehlt. Kann man den Spiegel solchem Lichte zukehren, so verdient es stets den Vorzug, und zwar um so mehr, weil das Mikroskop dann selbst ganz in Schatten gestellt werden kann. Zwar fehlt es den Bildern nicht an Nettigkeit, wenn das Instrument in der Sonne steht, sobald nur das Sonnenlicht selbst nicht unmittelbar aufgefangen und unverändert reflectirt wird; das Auge des Beobachters ist aber dabei zum genauen Sehen weniger befähigt, weil auch alle umgebenden Gegenstände stark beleuchtet sind, weshalb die Pupille stark verengt ist und weniger Licht durchlässt. Sind weisse Wolken am Himmel, dann stellt man das Mikroskop am besten in einiger Entfernung von einem Fenster auf, welches nach Norden (Nordost oder Nordwest) geht. Wünschenswerth ist es aber, dass sich in einem zu mikroskopischer Beobachtung bestimmten Zimmer noch ein anderes Fenster nach Süden vorfindet, weil man alsdann, wenn auch der Himmel unbewölkt ist, bei diffusem weissen Lichte beobachten kann. Finden sich die Fenster nur an einer Seite des Zimmers, dann ziehe ich selbst vor, wenn sie nach Süden gehen, weil man durch gehörig angebrachte Schirme das directe Sonnenlicht von allen Punkten, wo es hinderlich ist, nach Willkür abzuhalten im Stande ist. Denn nur zu häufig, namentlich bei der Beleuchtung undurchsichtiger Objecte, bewährt sich seine Benutzung sehr vortheilhaft, weshalb sein gänzlicher Abschluss in einem nur nach Norden freien Zimmer als ein ungünstiger Umstand angesehen werden muss.

Es ist wohl der Rath gegeben worden, bei der mikroskopischen Beobachtung das ganze Zimmer zu verdunkeln mit Ausnahme einer kleinen Oeffnung, durch welche das Licht auf den Spiegel fällt. Zu Gunsten dieses Verfahrens lässt sich nur das eine Moment anführen, dass in einem solchen fast dunkeln Raume die Pupille sehr weit geöffnet ist und folglich auch mehr Licht eindringen lässt. Früherhin, als man genöthigt war, die Oeffnung der Linsen sehr zu verkleinern, mochte dasselbe auch noch andere Vortheile gewähren. Bei unseren jetzigen Mikroskopen dagegen ist es nicht nur ganz überflüssig, sondern geradezu schädlich, weil, wenn der Durchmesser der Pupille zu gross wird, ein Theil der Strahlen in zu schiefer Richtung eindringt, so dass das Netzhautbildchen weniger scharf ausfällt, als wenn es blos durch Strahlen erzeugt wird, die etwas näher der Axe durchgehen. Sollte es aber wegen geringer Lichtstärke des Bildes nöthig sein, den Zutritt fremden Lichts von der Pupille abzuhalten, so genügt hierzu die über das Ocular gehaltene Hand meistens vollkommen.

Wichtiger ist die Abhaltung des auffallenden Lichts, wenn man bei durchfallendem Lichte beobachtet; sie ist um so mehr nöthig, je schwä-

chere Vergrösserungen man anwendet. Diese Lichtabhaltung erreicht man meistens in genügender Weise, wenn ein Schirm so gestellt wird, dass sein Schatten auf das Object fällt. Noch besser erreicht man dieses Ziel durch eine Art Ring oder Futteral von hinlänglicher Weite, damit das Objectiv nicht behindert wird, sich dem Objecte zu nähern.

214 Mit der Beleuchtung durch Tageslicht verknüpft sich nothwendiger Weise eine Unbequemlichkeit, das ist die Unbeständigkeit der Beleuchtung in Folge des veränderlichen Zustandes des Himmels. Durch vorbeiziehende Wolken, die eine verschiedenartige Lichtmenge reflectiren, wechselt der Grad der Beleuchtung manchmal jeden Augenblick, zum grossen Schaden der Beobachtung, weil das Auge dann das eine Mal mehr, das andere Mal weniger Licht empfängt und nicht jene Ruhe gewinnt, welche zu jeder scharfen Gesichtswahrnehmung erforderlich ist. Auch geschieht es bei uns nicht selten, dass die Sonne Tage lang durch einen dichten und dunkeln Wolkenschleier verdeckt ist, wo dann das hindurch schimmernde Licht kaum ausreicht, um bei schwachen Vergrösserungen etwas zu beobachten. Man wäre genöthigt, mühsamere Untersuchungen, die eine stärkere Vergrösserung und mehr Licht verlangen, geradezu auszusetzen, wenn nicht das Sonnen- oder Tageslicht durch künstliches Licht ersetzbar wäre. Der Hauptvorzug des letzteren, wodurch es dem Tageslichte offenbar den Rang abläuft, liegt wirklich in seiner Beständigkeit oder Gleichförmigkeit. Freilich hat man auch gegen seine Anwendung mehr oder weniger begründete Einwürfe erhoben. Am bedeutendsten fällt wohl der Einwurf von Mohl (a. a. O. S. 150) ins Gewicht, dass mikroskopische Präparate bei Tageslicht angefertigt werden müssen, und es wohl Niemand einfallen wird, „sich mit dem Präparate ins dunkle Zimmer einzuschliessen, um im Lampenlichte einen schlechten Ersatz für das Tageslicht zur Beobachtung desselben zu suchen.“ Die Richtigkeit dieser Bemerkung gestehe ich gern zu, wenn es sich um schwer anzufertigende Präparate handelt, um sehr feine Durchschnitte, um das Bloslegen der Theile unter der Lupe u. s. w.; doch muss ich auch hinzufügen, dass ziemlich viele mikroskopische Präparate sich ganz gut bei künstlichem Lichte anfertigen lassen, und dass namentlich die Zubereitung thierischer Stoffe und Gewebe zur mikroskopischen Untersuchung bei guter künstlicher Beleuchtung in den meisten Fällen mit der nämlichen Leichtigkeit wie beim Tageslichte erfolgen kann, wie eine vieljährige Erfahrung mich belehrt hat. Ich spreche dies um so lieber aus, weil viele von denen, in deren Händen ich das Mikroskop so gern als ein allgemein gebrauchtes Instrument zu sehen wünsche, die praktischen Aerzte nämlich, durch ihre Thätigkeit sich meistens ausser Stand befinden, vom Mikroskope anders als zur Abendzeit Gebrauch zu machen. Sie dürfen sich überzeugt halten, dass alle sie interessirende Untersuchungen eben so gut,

wenn nicht besser, bei künstlichem Lichte wie bei Tageslichte ausführbar sind.

Andere gegen das künstliche Licht erhobene Anschuldigungen beziehen sich mehr auf dessen unpassende Anwendung, als auf die Beleuchtungsart an und für sich. So hat man ihm zur Last gelegt, dass es die Augen in stärkerem Grade ermüdet. Dies ist allerdings der Fall, sobald eine zu starke Beleuchtung in Anwendung kommt; trägt man aber Sorge, das Licht so zu reguliren, dass die Beleuchtung des Gesichtsfeldes nicht über das erforderliche Maass hinausgeht, wobei die Bilder gehörig gesehen werden, dann läuft man in dieser Hinsicht gar keine Gefahr. Ich habe mehrmals 6 bis 8 Stunden hinter einander bei künstlichem Lichte mikroskopische Untersuchungen vorgenommen, ohne eine Ermüdung der Augen zu spüren. Andere mögen es vielleicht nicht so lange aushalten; denen wird aber auch bei Tageslicht die Anstrengung des Auges bald beschwerlich fallen.

Man hat ferner am künstlichen Lichte die gelbe Färbung getadelt. Auf die Genauigkeit der Beobachtung indessen kann diese Färbung keinen Einfluss haben, ausser wo es auf Erkennung von Farben ankommt. Ueberdies lässt sich hierin durch passende Wahl des künstlichen Lichts schon etwas abhelfen. Die Flamme einer Talgkerze ist röthlichgelb, jene einer Wachskerze mehr rein gelb. Beide eignen sich aber nicht zur Benutzung, nicht blos der Farbe halber, sondern weil die Flamme durch jeden Luftstrom bewegt wird. Besser entspricht schon eine Argand'sche Lampe, namentlich wenn sie eine Zugröhre hat, wodurch das Licht weisser wird, ebenso auch die Flamme von Lampen mit Terpentinöl und Alkohol oder Camphinelampen, sowie die mit Unrecht sogenannten Lampen mit flüssigem Gase. Eine helle Gasflamme, die von einer gläsernen Röhre umschlossen ist, noch besser eine gute Petroleumlampe entspricht dem Zwecke am allerbesten. Das elektrische Licht zwischen Kohlenspitzen und das Licht einer Flamme von Hydrooxygengas auf Kalk zeichnen sich allerdings durch ihre weisse Farbe aus; nur ist ihre Darstellung zu mühsam, als dass sie bei gewöhnlichen Untersuchungen zu benutzen wären.

Man kann ferner das Gelbe oder Röthliche des künstlichen Lichts in Weiss umwandeln, wenn man in die Bahn der Strahlen solche Medien bringt, welche die abundanten rothen und gelben Strahlen im Lichte absorbiren und nur solche durchlassen, deren relative Menge möglichst jener der verschiedenartig gefärbten Strahlen entspricht, aus denen das weisse Licht der Sonne zusammengesetzt ist. Dies geschieht dadurch, dass man die Strahlen durch eine Glasplatte oder durch eine Feuchtigkeit gehen lässt, die zu der Farbe der Flamme complementär, nämlich

Digitized by Google

blau ist*). Das Blau muss aber, je nach der Flammenart, wiederum verschieden nüancirt sein, da nicht jedes blaue Glas oder jede blaue Flüssigkeit dem Zwecke entspricht; durch besondere Prüfung ist die passende Nüance vorher zu bestimmen.

Das lässt sich auf verschiedene Weisen erreichen. So hat ein Ungenannter (Dingler's *Polyt. Journ.* 1844, Bd. 92, S. 398) den Polarisationsapparat empfohlen. Auf die Objectplatte eines polarisirenden Mikroskopes bringt man einige Krystalle, die dem zweiaxigen Systeme angehören; namentlich eignen sich dazu recht gut jene Krystalle, welche beim Verdunsten einer Auflösung von chlorsaurem Kali auf einem Glasplättchen entstehen. Man dreht dann den Analysator dergestalt, dass einer von den Krystallen oder ein Theil desselben in der gelben Färbung erscheint, die der Flamme eigenthümlich ist. Wird derselbe hierauf um einen Winkel von 90° gedreht, so erscheint der nämliche Krystall in der complementären blauen Farbe. Versucht man indessen diese Methode, so wird man finden, dass es sehr schwer hält, genau das Gelb zu ermitteln, welches jenem der Flamme entspricht. Ueberdies haben auch nur wenige einen Polarisationsapparat bei ihrem Mikroskope, und deshalb ist folgendes Verfahren, dessen Idee ich meinem Collegen van Rees verdanke, einfacher und zugleich auch besser. Wenn man durch das nämliche Object zwei Schatten werfen lässt, einen vom Tageslichte, den anderen von künstlichem Lichte, so sind diese Schatten bekanntlich gefärbt und zwar so, dass die Farbe des einen zu der des andern complementär ist. Lässt man nun durch eine Oeffnung in einem dunkelen Zimmer das Tageslicht auf ein weisses Papier fallen, vor welchem eine Latte oder etwas dergleichen gehalten wird, und stellt in passender Entfernung eine Flamme oder eine Lampe auf, so bemerkt man auf dem Papiere einen gelben Schatten vom Tageslichte und einen blauen Schatten vom künstlichen Lichte. Ersterer zeigt die Farbe der Flamme, letzterer deren complementäre Farbe. Bringt man dann in die Bahn der Strahlen ein Medium (eine Glasplatte oder eine Flüssigkeit), dessen Farbe mit dem complementären Blau stimmt, so werden, bei gehöriger Entfernung des Schirmes, die beiden Schatten zugleich schwarz erscheinen.

Auch auf eine mehr directe Weise lässt sich das passende Medium ausfindig machen, wodurch ein künstliches Licht weiss gemacht werden kann. Man bringt dasselbe zu dem Ende in einen Kasten mit einer kleinen Oeffnung und stellt diesen vor ein Fenster, das verschliessbar ist, aber so, dass eine kleine Oeffnung zum Eintritte des Tageslichtes

*) Dieses Verfahren wurde von Griffith (*Annals of natural history.* XII, p. 481) empfohlen. Die Grundsätze übrigens, von denen er dabei ausging, und seine Erklärung über die Wirkung der blauen Medien sind ganz falsch, wie Mohl (*Mikrographie* S. 152) dargethan hat.

Digitized by Google

übrig bleibt. Das durch beide Oeffnungen fallende Licht fängt man anf einem Stücke weissen Papiers auf und dann hält man nach einander verschiedene blau gefärbte Medien zwischen die Oeffnung im Kasten und das Papier, bis man jenes ausfindig macht, wobei die Farbe des Lichtes auf dem Papiere sich in beiden Fällen ziemlich gleich, nämlich weiss darstellt.

In der Regel wird es vortheilhaft sein, wenn man die Wahl blos auf solche Glassorten richtet, die sehr hellblau gefärbt sind. Benutzt man eine blaue Flüssigkeit, so muss diese in einem Glasgefässe mit flachen parallelen Wänden enthalten sein. Am passendsten erschien mir dazu eine sehr verdünnte Anflösung von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak.

Dabei ist noch ein Punkt zu beachten. Hat man ein Medium, wie etwa eine Glasplatte, gefunden, das nach der stattgefundenen Untersnchnng die complementäre Farbe der Flamme besitzt, und man legt Abends diese Glasplatte auf den Objecttisch des Mikroskopes, so wird das Gesichtsfeld nicht weiss, sondern als Wirkung des Contrastes stets bläulich sich darstellen: die Flamme sowohl als alle dadurch beleuchteten weissen Körper sind gelb gefärbt, und sieht man nach wirklich weissem Lichte, so tritt dieses mit der blauen complementären Farbe auf. Es ist daher nicht ausreichend, wenn man weisse Strahlen zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes im Mikroskope benutzt; alles Licht, auch ausserhalb des Mikroskopes, muss auf gleiche Weisse entfärbt werden. Das geeignetste Mittel hierzu würde sein, wenn man die Flamme vollständig mit einem Glase von der passenden Farbe umgäbe. Da man sich aber dergleichen nur schwer verschafft, so wird man sich damit begnügen können, eine ziemlich grosse Glasplatte oder ein mit Flüssigkeit gefülltes Gefäss dicht vor die Flamme zu bringen. Bei gehöriger Vorsicht ist es möglich, dem Gesichtsfelde anf diese Weise einen Farbentint zu verschaffen, der nicht allein dem Auge sehr angenehm ist, sondern auch wirklich kaum von jenem des Tageslichts unterschieden werden kann.

Man hat dem künstlichen Lichte endlich auch das Funkeln und Flimmern zum Vorwnrfe gemacht. Dieser Tadel trifft aber nur da zu, wenn bei Anwendung des künstlichen Lichtes verabsäumt wird, was man auch beim Sonnenlichte nicht ausser Acht lassen darf, dass nämlich nicht direct ausstrahlendes, sondern vorher diffundirtes Licht aufgefangen wird. Die Regel muss sein, dass man dies niemals verabsäumt, ausser bei der Beleuchtung undurchsichtiger Objecte durch auffallendes Licht, wo, wie bereits erwähnt, auch bei Benutzung des Sonnenlichts keine besondere Vorkehrung erfordert wird.

Das Diffundiren des Sonnenlichts wird, wie wir gesehen haben, am besten durch Reflexion von weissen Oberflächen erreicht, und das Nämliche gilt anch vom künstlichen Lichte. Namentlich erhält man eine

Digitized by Google

ausnehmend schöne Beleuchtung, wenn das zwischen Kohlenspitzen sich bildende elektrische Licht, oder wenn das Licht der auf Kalk treffenden Hydrooxygengasflamme durch eine weisse Oberfläche reflectirt wird. Dem gewöhnlichen Lampen- oder Gaslichte fehlt indessen die nöthige Intensität, um dieses Princip mit ihnen ebenfalls zur Anwendung bringen zu können, ausgenommen bei schwachen Vergrösserungen. Hier ist es besser, wenn man vor die Lichtquelle ein matt geschliffenes Glas bringt, das nach dem im vorigen Paragraphen Angegebenen nur an Einer Fläche matt gemacht sein darf. In der Regel genügt es schon, wenn man die Flamme mit einer gewöhnlichen runden Kugel umgiebt. Noch besser ist es, man bringt zwischen den Spiegel und den Objecttisch eine matt geschliffene Glasplatte, oder man legt ganz einfach eine nur auf einer Seite matt geschliffene Glasplatte unter das Object. Doch ist es nicht gleichgültig, in welchem Grade die Oberfläche matt ist, da die relative Menge des unregelmässig zerstreuten und des regelmässig durchfallenden Lichts dadurch bedingt wird. Es ist deshalb gerathen, wenn man unter mehreren Glasplatten, die mehr oder weniger matt geschliffen sind, jene aussucht, welche bei desfallsigen Versuchen dem Zwecke am besten zu entsprechen scheint.

Bei Beachtung dieser verschiedenen Vorschriften lassen sich alle schädlichen Eigenschaften des künstlichen Lichts beseitigen, und es bleiben jene erhalten, wodurch sein unbestreitbarer Vorzug vor dem Tageslichte begründet wird, nämlich die grössere Gleichmässigkeit und die leichtere Regulirung. Es bleibt nur noch übrig, nachzuweisen, dass seinen Strahlen auch die verschiedenen relativen Richtungen verschafft werden können, welche je nach der Art und der verschiedenen Form der Objecte gefordert werden. Die Nähe der Lichtquelle bringt es mit sich, dass die unmittelbar aufgefangenen oder durch den Planspiegel reflectirten Strahlen divergirende sind. Mittelst der oben beschriebenen Einrichtung können sie convergent gemacht werden (§§. 207 und 208), und offenbar lässt sich der Grad der Divergenz und Convergenz dadurch modificiren, dass man die Linse der Concavität des Spiegels näher oder entfernter stellt. Der nämliche Apparat kann auch dazu benutzt werden, das Gesichtsfeld durch parallele Strahlen zu erleuchten; nur muss dann die Entfernung der Linse von dem Spiegel grösser sein, als die Summe ihrer beiden Brennweiten. Man findet die Stelle für die Linse, wenn man auf einer matt geschliffenen Glasplatte oder auf einem beölten Papiere das Bild der Flamme in der Entfernung auffängt, wobei es sich am schärfsten darstellt. Bekommt dann die Linse eine Stellung, bei welcher das Bild der Flamme in ihrem Brennpunkte liegt, dann sind die durch die Linse gehenden Strahlen parallel.

Noch auf eine andere Weise lassen sich die divergirenden Lichtstrahlen in parallele umwandeln, sobald nur, wie es ja bei den meisten

Digitized by Google

Mikroskopen der Fall ist, die Brennweite des Spiegels dessen Entfernung von dem Objecttische übertrifft. Man braucht dann nur eine Linse dergestalt vor die Flamme des künstlichen Lichtes zu bringen, dass das Flammenbild gerade in den Hauptbrennpunkt des Spiegels kommt, dessen Brennweite man deshalb vorher bestimmt haben muss. Die durch den Hohlspiegel reflectirten Strahlen werden dann (§. 13) parallel sein gleich denen des Tageslichtes, die von einem Planspiegel reflectirt werden. Dabei ist es aus leicht begreiflichen Gründen wünschenswerth, dass sich im Brennpunkte des Spiegels ein verkleinertes Bild des künstlichen Lichtes befindet, und um nicht genöthigt zu sein, letzteres in zu grosse Entfernung zu bringen, wodurch die Intensität des Lichtes abnehmen würde, muss eine Linse mit kurzer Brennweite genommen werden, die aber doch zugleich einen grossen Durchmesser hat, damit ihre Oberfläche viel Licht bekommt. Da es hier aber weniger auf die ganz genaue Form ankommt, so kann dazu auch ganz füglich eine biconvexe gegossene Linse oder ein sogenanntes Ochsenauge genommen werden. Auch eine Glaskugel mit Wasser gefüllt, wie die Schuhmacher zu gebrauchen pflegen, kann die Stelle vertreten. Nöthigen Falls kann man vor die grössere Linse oder Kugel noch eine kleinere Linse bringen, wodurch die Strahlen noch stärker convergirend werden und sich zu einem noch kleineren Bilde vereinigen.

Ein drittes Mittel endlich, um die divergirenden Strahlen des künstlichen Lichtes parallel zu machen, bietet sich darin, dass eine Zerstreuungslinse von passender Brennweite in die Bahn der Strahlen gebracht wird. Zu dem Ende kann man den in Fig. 119 dargestellten Beleuchtungsapparat nehmen, wo aber die Sammellinse *CD* durch eine Zerstreuungslinse ersetzt werden muss, die so zu stehen kommt, dass der Zerstreuungspunkt sich gerade im Vereinigungspunkte der verlängerten, durch den Hohlspiegel convergirend gemachten Strahlen befindet. Das Gesichtsfeld wird alsdann durch parallele Strahlen beleuchtet (§. 46).

Schliesslich erwähne ich noch in Kürze die Benutzung des polari- 215
sirten Lichtes bei mikroskopischen Untersuchungen, indem ich in Betreff einer ausführlichern Beschreibung der benutzten Apparate auf den dritten Band, und hinsichtlich der Theorie der Polarisationserscheinungen selbst auf die Hand- und Lehrbücher der Physik verweise.

Jedes Mikroskop, das einfache wie das zusammengesetzte und das Bildmikroskop, kann ohne grosse Mühe in ein polarisirendes Mikroskop umgewandelt werden, indem man die nämlichen Mittel anwendet, die in allen Polarisationsapparaten, auch ohne Vergrösserung, in Gebrauch sind. Die Auswahl ist hier bekanntlich ziemlich gross. Man kann das Licht auffangen, welches durch ein auf der einen Seite geschwärztes Glas unter einem Winkel von 32°25 reflectirt wird; oder man benutzt einen doppelt

brechenden Krystall von Kalkspath, wodurch einem der beiden Strahlenbündel der Weg versperrt wird; oder man nimmt ein sogenanntes Nicol'sches Prisma, welches dergestalt aus einem solchen Kalkspathkrystalle hergestellt wird, dass nur eins von den Strahlenbündeln, welche durch die doppelte Brechung entstehen, durchgelassen, das andere aber reflectirt wird. Ein Satz Glasplatten (am besten dünne Deckplättchen wegen der geringen Raumerfüllung), die unter einem Winkel von 35° aufgestellt sind, oder ein Turmalinplättchen, welches der Axe des Krystalles parallel geschliffen ist, können ebenfalls zur Polarisation des Lichtes verwendet werden.

Für die meisten Zwecke ist es ziemlich gleichgültig, welchem von diesen Mitteln man den Vorzug giebt, da sie bei gehöriger Einrichtung im polarisirenden Vermögen einander alle ziemlich gleichstehen. Beim Mikroskope kommt aber vor Allem die Lichtmenge in Betracht, die bei der Anwendung verloren geht, und deshalb ist hier weder der schwarze Spiegel, noch das immer braun oder grün gefärbte Turmalinplättchen gut benutzbar. Nur beim einfachen Mikroskope ist man auf das letztgenannte Mittel hingewiesen, weil durch die übrigen Polarisationsmittel das Feld zu sehr verkleinert wird.

Um die von der Polarisation bedingten Erscheinungen sichtbar zu machen, muss erstlich das Gesichtsfeld durch polarisirtes Licht erleuchtet werden, und es muss zweitens dies polarisirte Licht durch ein anderes Polarisationsmittel ins Auge hineingelassen werden. Man hat also auch hier, wie bei jedem anderen Polarisationsapparate, einen Polarisator und einen Analysator. Gäbe man für beides dem Nicol'schen Prisma den Vorzug, so muss beim zusammengesetzten Mikroskope Ein solches Prisma dicht unter die Oeffnung des Objecttisches kommen, so dass dessen Axe mit der optischen Axe des ganzen Instrumentes zusammenfällt. Das zweite Prisma könnte dann entweder in das Mikroskoprohr zwischen Objectiv und Ocular oder zwischen das letztere und das Auge kommen. Die letztgenannte Stellung ist aber nicht zu wählen, weil das Gesichtsfeld dadurch sehr verkleinert wird; dagegen ist dieses am grössten, wenn das zweite Prisma dicht über dem Objective steht. Hat man aber ein Nicol'sches Prisma von ziemlich grossem Durchmesser, so kann dieses auch, ohne zu grosse Verkleinerung des Gesichtsfeldes, unmittelbar unter das Ocular gebracht werden, so dass es mit letzterem vereinigt ist. Dadurch entsteht der Vortheil, dass man durch blosses Herumdrehen des Oculares alle Polarisationserscheinungen nach einander beobachten kann. Liegt der Analysator gleich über dem Objective, dann muss das ganze Mikroskoprohr, oder der Polarisator unter dem Objecttische sich herumdrehen lassen.

Will man die Polarisationserscheinungen bei stärkeren Vergrösserungen untersuchen, dann muss das Licht condensirt werden, und man

erreicht dies bequem dadurch, dass über den Polarisator eine Linse oder ein Linsensystem kommt.

Es ist klar, dass jedes Bildmikroskop auf solche Weise in ein polarisirendes Mikroskop sich umwandeln lässt; es ist dazu weiter nichts nöthig, als dass man zwischen den Beleuchtungsapparat und das Object einen Polarisator, und unmittelbar hinter das Objectiv einen Analysator bringt, die um die Axe des ganzen Instrumentes sich drehen lassen.

Stehen die beiden Polarisationsebenen rechtwinkelig auf einander, dann ist das Gesichtsfeld dunkel; sind sie parallel, dann ist es hell. Wenn man also den Polarisator oder den Analysator um einen Winkel von 90° dreht, dann kann man abwechselnd ein erhelltes und ein dunkeles Feld sehen; in den zwischenliegenden Stellungen aber empfängt dasselbe einen Theil des Lichtes. Je dunkeler sich das Feld in der einen Stellung und je heller es sich in der anderen darstellt, um so vollkommener ist die Polarisation.

Wünscht man nun den Einfluss zu untersuchen, dem das polarisirte Licht unterliegt, wenn es einen durchsichtigen Körper durchsetzt, so wird der letztere auf gewöhnliche Weise auf den Objecttisch gelegt. Ist das Gesichtsfeld vorher verdunkelt worden, so dass keine Lichtstrahlen ins Auge gelangen, und man bringt jetzt ein Object in die Bahn der Strahlen, z. B. einen zweiaxigen Krystall, der die Eigenschaft hat, das Licht zu depolarisiren, so wird dasselbe auf schwarzem Grunde beleuchtet sich darstellen. Da aber diese Eigenschaft nicht in gleichem Maasse bei allen farbigen Strahlen wirksam ist, und zugleich auch die Dicke des Objectes mit in Betracht kommt, so sieht man dasselbe nicht weiss, sondern gefärbt. Die Farbe ändert sich, wenn der Polarisator oder der Analysator gedreht wird; die verschiedenen Farben, aus denen das weisse Licht besteht, folgen geregelt auf einander, und wenn beide Polarisationsflächen parallel sind, das Gesichtsfeld also hell ist, dann hat das Object die complementäre Farbe zu jener, die es zeigte, als das Gesichtsfeld schwarz war.

Wechselt die Dicke des Objectes, so zeigt dasselbe bei der nämlichen relativen Stellung des Polarisators und des Analysators dennoch eine verschiedene Färbung. Daher die Erscheinung, dass Krystalle, welche das Licht depolarisiren und während der Beobachtung an Grösse zunehmen, etwa durch Verdunstung der Flüssigkeit, worin sie aufgelöst waren, eine veränderte Färbung zeigen, und wenn eine Anzahl Krystalle der nämlichen Substanz gleichzeitig durch das polarisirende Mikroskop betrachtet werden, verschiedene Farbenschattirungen an denselben wahrzunehmen sind. Es kann selbst vorkommen, dass einem Krystalle oder einem anderen Körper das depolarisirende Vermögen abgeht, blos weil derselbe zu dünn ist. Für diesen Fall giebt Chevalier (a. a. O. S. 151) den Rath, den Krystall auf ein Glimmerblättchen zu legen. Man kann aber auch

ein Gysphlättchen dazu nehmen. Das Glimmer- oder Gypshlättchen erscheint dann, je nach seiner Dicke, verschiedenartig aher gleichmässig gefärht, und das darauf liegende Ohject zeigt eine andere Färhung, weshalb es eben sichtbar wird.

Manchmal wird anch durch die Lagerung des Objectes die Depolarisation gefördert; wenn daher die Beschaffenheit des Ohjectes es zulässt, so muss man dasselbe in verschiedene Lagen zn bringen suchen. So können in einem Tropfen eine Anzahl kleine Krystalle der nämlichen Substanz vorhanden sein, von denen einige das Licht depolarisiren nnd sich gefärht darstellen, andere dagegen nicht. Erzeugt man nun eine Strömung in der Flüssigkeit, so dass die Krystalle sich herumwälzen und ahwechselnd verschiedene Flächen dem polarisirten Lichte zukehren, so wird man sie bald gefärbt, bald wieder ungefärht wahrnehmen; ist aher das Gesichtsfeld schwarz, so verschwinden sie jetzt nnd kommen dann wiederum zum Vorschein.

Die Beziehung der Körper zum polarisirten Lichtstrahle zählt sicherlich zn den interessantesten Erkennungsmitteln ihrer elementaren Zusammensetzung. Nicht hlos Krystalle, anch mehrere organische Substanzen, pflanzliche wie thierische, unterliegen dieser Einwirkung. Ich habe schon früher (§. 96) angeführt, dass ganz durchsichtige Körper bei durchfallendem Lichte nnr deshalb uns sichthar werden, weil die Lichtstrahlen entweder gehrochen, oder reflectirt, oder theilweise absorbirt werden. Es kann nun recht gut der Fall eintreten, dass die einander zunächst gelegenen Theile eines Objectes auf diese Weise nicht mehr als von einander verschieden erkannt werden können, weil sie im Brechungs-, Reflexions- und Absorptionsvermögen einander ganz gleich sind; wenn aber ihre Einwirkung auf das polarisirte Licht eine verschiedenartige ist, so kann sich dann hierdurch ihre Zusammensetzung aus besonderen Bestandtheilen kund gehen.

216 Bei mikroskopischen Untersuchungen entbehren wir manche Hülfsmittel, die uns bei anderen Untersuchungen zu Gebote stehen. Von den verschiedenen Sinnesorganen, deren Zusammenwirken so gewichtig ist, um uns von den Dingen ausser uns eine klare und richtige Vorstellung zu verschaffen, bleibt uns hier nur der Gesichtssinn übrig, und wenn irgendwo, so ist es hier deshalb nöthig, die Gesichtsvorstellung so vollkommen als möglich zu machen, indem eine grosse Anzahl auf verschiedene Weise empfangene Gesichtseindrücke vereinigt wird. Ein Beobachter, der einen Gegenstand nur bei einem besondern Zustande der Beleuchtung durch ein Mikroskop geschaut hat, besitzt davon eine gleich unvollständige Vorstellung, wie ein durcheilender Reisender von einer schönen Landschaft, auf die er blos im Vorheigehen einen Blick geworfen hat, und in der sich, je nachdem sie von der Morgen- oder Abendsonne be-

Digitized by Google

schienen, oder durch die Mittagssonne im vollen Glanze bestrahlt wird, oder aber mit schwarzem Gewölk bedeckt ist, abwechselnde neue Schönheiten dem Auge darstellen.

Eine gute Benutzung des Beleuchtungsapparates zählt gewiss zu den besten Merkmalen, um den geübten mikroskopischen Beobachter vom weniger geübten unterscheiden zu können. Während der letztere, weil er die stärkste Beleuchtung auch für die beste hält, bis zum Thränen der Augen in einem See von Licht arbeitet, worin alle feineren Einzelnheiten des Bildes gleichsam ertränkt sind, wird jener dagegen das Licht soviel zu mässigen suchen, als es die Art des Objectes verlangt: er wird abwechselnd parallele, convergirende oder divergirende Strahlen einwirken lassen, oder nachdem er es zuerst bei centrischer Beleuchtung betrachtet hat, wird er erforschen, welchen Einfluss ein schief einfallendes Licht übt. Dann wird er sich nicht auf die Untersnchung bei durchfallendem Lichte beschränken, sondern auch auffallendes Licht anwenden, selbst bei durchsichtigen Objecten, weil er hierdnrch Gelegenheit bekommt, einige Einzelnheiten besser zu sehen nnd ihre nähere Beschaffenheit zu erkennen. So wird er, namentlich bei schief auffallendem Lichte, Vertiefungen und Erhöhungen aus der Richtnng der Schatten sicherer von einander unterscheiden; auch wird er nicht Gefahr laufen, kleine Lnftblasen oder Fettkügelchen für eine schwarze undurchsichtige Substanz, verästelte Pigmentzellen für Knochenkörperchen zu halten.

Sind die gewöhnlichen Beleuchtungsarten alle durchgenommen worden, so bietet sich manchmal noch ein grosses Hülfsmittel im polarisirten Lichte, um in die innerste Bildung eines Körpers einzudringen und Verschiedenheiten zur Ansicht zu bringen, die auf keine andere Weise sich erkennen lassen.

Gestützt auf die Kenntniss der ewigen Gesetze, denen das Licht gehorcht, und dessen Strahlen dort, wo das Skalpel im Stiche lässt, gleichsam zur Zergliederung der Körper benutzend, hat der Beobachter auf diese Weise von einem und demselben Objecte eine Reihe von Gesichtseindrücken bekommen. Jeder von diesen Eindrücken kann an sich selbst vollkommen richtig sein, und dennoch zu einer falschen Vorstellung von der Beschaffenheit des Objectes führen; werden aber alle Eindrücke, die zum Bewusstsein gelangt sind, durch den Verstand geordnet, unter einander verglichen und zu einem zusammenhängenden Ganzen verbunden, dann darf der Beobachter mit gutem Grnnde hoffen, dass das Endresultat der Untersuchung wirklich Wahrheit ist. Umfasst es noch nicht die ganze Wahrheit, so darf er sich doch wenigstens das Zeugniss geben, eifrig darnach gestrebt und die Hülfsmittel erschöpft zu haben, welche der gegenwärtige Stand der Wissenschaft darbietet.

Digitized by Google

Neuntes Kapitel.

Vergrösserung der Mikroskope im Allgemeinen und Mittel zu deren Bestimmung.

217 Schon mehrmals (§§. 111, 147, 152) war von der Vergrösserung der Mikroskope die Rede und von den Mitteln, dieselbe aus den Brennweiten der Linsen und der mittleren Sehweite zu berechnen. Das geschah aber mehr in der Absicht, die Wirkungsweise der verschiedenen Mikroskoparten aufzuklären, nicht aber deshalb, weil diese Methoden die empfehlenswerthesten sind. Obwohl sie bei gehöriger Genauigkeit genaue Resultate liefern, so giebt es doch noch andere Methoden, durch welche die Vergrösserung auf mehr directe Weise bestimmt wird, die dabei leichter ausführbar sind und mindestens gleich genaue Resultate liefern. Diese sollen deshalb hier ausdrücklich betrachtet werden, namentlich in soweit es sich um die Vergrösserung der einfachen und der zusammengesetzten Mikroskope handelt; denn für Bildmikroskope ist der einzige directe Weg der im §. 130 angegebene.

Zuvörderst muss ich aber den Leser wiederum an das bereits (§§. 111 und 147) Gesagte erinnern, dass die Vergrösserung eines Mikroskopes niemals eine absolute, sondern immer nur eine relative ist, dass also das nämliche Mikroskop für das Auge eines Beobachters stärker vergrössernd ist, als für das Auge eines anderen, weil nämlich die Entfernung, in welche man die Objecte zu bringen pflegt, die deutlich gesehen werden sollen, keineswegs für alle Individuen die nämliche ist. Selbst wenn man die Grösse der Netzhautbildchen im Vergleich zur Grösse der Objecte zur Berechnung der Vergrösserung benutzen wollte, würde sich doch noch für jedes Auge eine Verschiedenartigkeit herausstellen (§. 148).

Es wird aber nicht unpassend sein, wenn über diesen Punkt hier noch Einiges angeführt wird, und wenn die Vergrösserungskraft der Mikroskope im Zusammenhange mit der physiologischen Beschaffenheit des Auges betrachtet wird.

218 Sieht man durch eine Linse oder durch ein zusammengesetztes Mikroskop auf einen Gegenstand, so projicirt man das wahrgenommene Scheinbild auf eine Fläche, die sich in einer bestimmten Entfernung vom Auge befindet. Es ist daher erforderlich, dass der Accommodationszustand des Auges der Art ist, wie in dem Falle, wenn das Auge auf der Netzhaut ein scharfes Bild von Objecten, die sich wirklich in solcher Entfernung befinden, zu Stande bringt.

Während der Beobachtnng dnrch ein Mikroskop ist aber das Ange keineswegs ein nur passives Instrument, gleichsam ein Schirm, der die Bilder auffängt; vielmehr kann sein Accommodationsvermögen eben so wirksam sein, wie beim gewöhnlichen Sehen, und folglich ist anch die Entfernnng der Fläche, auf welche das Scheinbild projicirt wird, gleich dem Accommodationszustande selbst veränderlich. Hieraus folgt ferner, dass der nämliche Beobachter durch das nämliche Mikroskop die Objecte jetzt stärker und dann wieder schwächer vergrössert wahrnehmen wird, je nach dem Accommodationszustande des Auges im Augenblicke der Beobachtung.

Dass dem so sei, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man Jemand, der ein gutes Gesicht hat, aber selten dnrchs Mikroskop sieht, das nämliche Object zu verschiedener Zeit im Mikroskope sehen lässt. Vergleicht er dessen Grösso mit einem ihm bekannten Maasse, so werden seine Angaben nicht selten gar sehr unter einander differiren. So ersuchte ich Jemand, der gut zeichnet, auf einem Papiere die Grösse der Felder eines Glasmikrometers zu zeichnen, wie ihm dieselben im Felde des Mikroskopes zu verschiedenen Zeiten sich darstellten. Bei einer 36maligen und einer 302maligen Vergrösserung und einer mittleren Sehweite von 25 Centimeter ergab sich Folgendes:

a. Wahrer Durchmesser der Felder = $^1/_{50}$ engl. Zoll oder $0{,}508^{mm}$, Durchmesser der gezeichneten Felder = 4,5 bis 6,7 bis 8,5 und $11{,}5^{mm}$.

b. Wahrer Durchmesser der Felder = $^1/_{500}$ engl. Zoll oder $0{,}0508^{mm}$, Durchmesser der gezeichneten Felder = 5,2 bis 7 bis 9,6 und 11^{mm}.

So ist also die sogenannte mittlere Sehweite nicht blos für verschiedene Augen verschieden, auch für das nämliche Auge bleibt sie nicht unveränderlich (§. 66); und wie das Accommodationsvermögen des Auges sich zwischen bestimmten Grenzen bewegt, so gilt dies auch für das Vergrösserungsvermögen eines Mikroskopes bei einem und demselben Auge. Ist ein Object in der gehörigen Entfernung unter das Mikroskop gebracht worden, so dass man dasselbe vollkommen deutlich sieht, und blickt man dann anf ein sehr entferntes Object, zu dessen Wahrnehmung sich das Auge für Strahlen accommodiren muss, die fast parallel sind, so wird man, wenn man unmittelbar darauf wieder durchs Mikroskop sieht, das Object zuerst viel undeutlicher wahrnehmen als früherhin, weil die aus dem Mikroskope kommenden Strahlen zu divergirend sind, als dass sie sich auf der Netzhaut zu einem scharfen Bilde sollten vereinigen können. Nach einiger Zeit wird aber das Auge wiederum in den früheren Zustand zurückgekehrt sein und ein scharfes Bild sich darstellen. Das Umgekehrte kann aber auch stattfinden, dass man nämlich, indem man die Entfernung des Objectes in etwas verändert, auch in dem Grade der

Divergenz, mit welcher die Strahlen das Mikroskop verlassen, einige Veränderung bewirkt, und so mit dem temporären Accommodationszustande des Auges einen Einklang herbeiführt.

Das Auge und das Mikroskop machen also zusammen ein Ganzes aus, dessen Verband nicht gestört wird, wenn einer der zusammensetzenden Theile kleine Veränderungen erfährt, sobald nur eine entsprechende Veränderung im andern eintritt.

Die Frage, ob es für jedes Auge eine bestimmte mittlere Sehweite und also auch ein bestimmtes Vergrösserungsvermögen eines Mikroskopes giebt, kann darum in dieser Allgemeinheit nur verneinend beantwortet werden. Etwas anders muss aber die Antwort ausfallen, wenn man dabei auf die Personen selbst Rücksicht nimmt, die das Mikroskop gebrauchen. Von Jugend auf sind diese gewohnt, beim Lesen oder beim Schreiben oder bei feinen Handarbeiten die Gegenstände, die sie genau sehen wollen, in eine gewisse Entfernung vom Auge zu halten, und ist auch diese Entfernung keine genau bestimmte, so schwankt sie doch nur innerhalb enger Grenzen. Dieser Entfernung der Objecte hat sich das Auge am leichtesten accommodirt, und durch Gewohnheit ist sie ihm die natürlichste geworden. Befindet sich das Auge in der Ruhe, ist es z. B. geschlossen oder sieht es in einen leeren Raum, dann hat es diesen Accommodationszustand. Blickt nun ein solches Auge durch ein Mikroskop, ohne dass sich ein Object in passender Entfernung von der Linse befindet, so ist das Gesichtsfeld für dasselbe anfänglich auch ein leerer Raum; das Auge wird also im Zustande der Ruhe verharren, und das Accommodationsvermögen wird weder für eine weitere noch für eine kürzere Entfernung angestrengt werden. Wird weiterhin das Object allmälig der Linse genähert, so wird Jener, der nicht gerade gewohnt ist, durch ein Mikroskop zu sehen, das Accommodationsvermögen, ohne sich dessen bewusst zu sein, wirken lassen, und die Folge wird sein, dass er das Scheinbild einmal in dieser, ein anderes Mal in jener Entfernung und dabei in verschiedener Vergrösserung zu sehen glaubt. Bei einem, der an mikroskopisches Sehen gewöhnt ist, bleibt dagegen das Accommodationsvermögen auch während der Annäherung des Objectes in der Regel ganz passiv; das Auge wartet gleichsam, bis die Strahlen jenen Grad von Divergenz erlangt haben, mit der sie von Objecten kommen, die sich in seiner gewöhnlichen mittleren Sehweite befinden. Daher kommt es, dass für den geübten mikroskopischen Beobachter das Vergrösserungsvermögen andauernd fast das nämliche bleibt.

Aus dieser Betrachtung ergiebt sich auch, dass man bei der Berechnung der Vergrösserung nicht von der Entfernung des Nähepunktes des Auges (§. 67) ausgehen darf, wie Goring, Brewster wollten; denn ist dss Auge für Gegenstände in dieser Entfernung accommodirt, so befindet

es sich nicht in Ruhe, sondern in einem Zustande wirklicher Spannung, die nicht lange anhalten kann.

Es ist aber möglich und sogar wahrscheinlich, dass bei sehr schwierigen mikroskopischen Untersuchungen das Auge sich vorübergehend auch für eine geringere Entfernung als die gewöhnliche accommodirt, wodurch die Netzhautbildchen etwas grösser werden und folglich noch Einzelnheiten zur Beobachtung gelangen können, die dem Auge beim gewöhnlichen Accommodationszustande entgehen. Wahrscheinlich rührt es davon her, dass sogar Jemand, der täglich einige Stunden auf mikroskopische Untersuchungen verwendet, ohne dadurch eine Ermüdung des Auges zu empfinden, dann, wenn es sich um die Untersuchung ganz kleiner Objecte handelt, die an den äussersten Grenzen der Sichtbarkeit befindlich sind, nach einiger Zeit eine unangenehme, manchmal selbst schmerzhafte Spannung im Auge empfindet, die zum Unterbrechen der Untersuchung nöthigt.

Wir stellen also den Satz auf, dass beim Berechnen des Vergrösserungsvermögens der Mikroskope von der gewöhnlichen mittleren Sehweite ausgegangen werden muss; nur darf nicht vergessen werden, wenn wir das Sehvermögen des blossen Auges mit jenem des Mikroskopes vergleichen, dass das Gebiet beider zum Theil zusammenfällt. Gesetzt, ein Auge mit einer mittleren Sehweite von 200^{mm} und einem Nähepunkte von 100^{mm} sieht durch eine Linse, welche für die genannte mittlere Sehweite zweimal vergrössert, so wird der nämliche Beobachter, auch ohne die Linse, den nämlichen Gegenstand mit gleicher Deutlichkeit zweimal grösser sehen, wenn er denselben auf 100^{mm} von seinem Auge hält. Es ist nur der Unterschied, dass er im ersteren Falle mit Bequemlichkeit und ohne alle Anstrengung den Gegenstand sieht, während er im zweiten Falle genöthigt ist, sein Auge in einen ungewöhnlichen Zustand zu versetzen: in beiden Fällen ist aber der Grad der Divergenz, womit die Strahlen ins Auge treten, der nämliche.

Wenn nun auch von einer genau festzusetzenden Vergrösserung eines Mikroskopes nicht die Rede sein kann, so erscheint es doch wünschenswerth, dass man nach einem gewissen Maasse in Zahlen ausdrücken könne, wie weit eine Linse oder eine Vereinigung von Linsen das Vermögen des Auges steigert, kleinere Körper wahrzunehmen, die man mit blossem Auge nicht sieht. Bei einfachen Linsen hat man diesen Maassstab in der Brennweite; bei Doublets und Triplets würde die Brennweite der äquivalenten Linse (§. 124) dazu benutzt werden können. Beim zusammengesetzten Mikroskope lässt sich die Vergrösserung ebenfalls durch die Brennweite der äquivalenten Linse ausdrücken, die man durch Berechnung oder durch directe Bestimmung auffinden kann, wenn man nach Goring (*Micrographia* p. 68) das zusammengesetzte Mikroskop 219

als Ocular eines Teleskopes gebraucht und mit Hülfe eines Dynameters die Vergrösserung in der Weise bestimmt, wie dies weiter oben (§. 114) für eine einzelne Linse angegeben worden ist.

Der Maassstab, den die Brennweite abgiebt, ist jedoch bei weitem nicht so zuverlässig, als es auf den ersten Blick vielleicht scheinen mag. Er würde es nur alsdann sein, wenn beim Sehen durch eine und dieselbe Linse in jedem Ange scharfe Netzhautbildchen von gleicher Grösse entständen. Differirte dann auch die relative Vergrösserung, weil ein Beobachter von den nämlichen Körpern kleinere Netzhautbildchen wahrzunehmen pflegt, als ein anderer, so würde doch die absolute Vergrösserung, jene der Netzhautbildchen nämlich, durch eine bestimmte Zahl sich ausdrücken lassen. Eine solche Gleichheit in der Grösse der Netzhautbildchen findet aber, wie wir bereits gesehen haben, nicht statt. Im Gegentheil mindert sich die absolute Vergrösserung in dem Maasse, als die relative zunimmt, und umgekehrt. Wenn man daher die Vergrösserung eines Mikroskopes durch die Brennweite ausdrückt, so ist man immer noch genöthigt, für jedes Auge im Besonderen zu berechnen, wie die Vergrösserung für dasselbe unter bestimmten Umständen sich verhält.

220 Untersuchen wir jetzt, ob das gewöhnlich befolgte Verfahren, wornach die Vergrösserung nach der allgemein festgesetzten mittleren Sehweite berechnet wird, besser zum Ziele führt.

Hier stossen wir sogleich auf eine Schwierigkeit, deren Beseitigung sehr wünschenswerth wäre, weil viele Verwirrung dadurch entsteht; es fragt sich nämlich, welcher Augenabstand als allgemeine mittlere Sehweite angenommen werden soll? Darüber herrscht noch immer viel Willkür: einige wollen die Vergrösserung für einen Augenabstand von 5 englischen Zollen berechnet haben, andere setzen 8 rheinische Zolle, noch andere 10 Pariser Zolle dafür fest, und endlich werden von noch anderen 25 Centimeter angenommen. Mir ist sogar einmal der Fall vorgekommen, dass die Vergrösserungen eines horizontal gestellten Mikroskopes für eine mittlere Sehweite von 37 Centimeter berechnet waren, weil dies die zufällige Höhe des Rohres über der Tafel war!

Selbstverständlich übt diese Verschiedenheit einen sehr bedeutenden Einfluss auf die Vergrösserungsziffer, da diese in gleichem Verhältniss grösser wird, als die Entfernung der Ebene zunimmt, auf welche das Bild projicirt wird. Eine Vergrösserung, die für eine mittlere Sehweite von 5 englischen Zollen eine 300malige wäre, ist ungefähr eine 900malige, wenn die Sehweite zu 37 Centimeter angenommen wird.

Die letztgenannte Entfernung ist sicherlich eine viel zu grosse, und die erstere muss als zu klein bezeichnet werden, um als allgemeiner Maassstab zu gelten; es ist aber auch kein genügender Grund vorhanden,

um zwischen den übrigen gebräuchlichen Vergrösserungen eine entscheidende Wahl zu treffen, weil die Ziffer der mittleren Sehweite unmöglich mit Bestimmtheit sich angeben lässt. Auch ist es ziemlich gleichgültig, welchen Augenabstand man wählt, wenn nur bei Angabe der Vergrösserung niemals versäumt wird, denselben anzuführen. Vielleicht verdient die Sehweite von 25 Centimeter den Vorzug wegen der Beziehung znm metrischen Maasse, welches doch früher oder später wahrscheinlich alle anderen Massse verdrängen wird. Aus diesem Grunde habe ich mich bisher an diese Sehweite gehalten, und auch weiterhin werde ich die Vergrösserungen für diese Entfernnng berechnen. Uebrigens lässt sich aus der Vergrösserung für eine bestimmte mittlere Sehweite leicht die Vergrösserung für eine andere Schweite herleiten; die Vergrösserungsziffern verhalten sich nämlich zn einander wie die Sehweiten. Für eine doppelte Sehweite ist die Vergrösserung auch doppelt so gross. Einer 350maligen Vergrösserung für eine Sehweite von 25 Centimeter entspricht bei 20 Centimeter Sehweite nnr eine Vergrösserung von $\frac{350 \,.\, 20}{25} = 280$. Zur Bequemlichkeit des Lesers füge ich hier noch die Vergrösserungen für die verschiedenen zur Berechnung benutzten Sehweiten in der auf umstehender Seite gegebenen Tafel bei:

Digitized by Google

25 Centimeter.	5 englische Zoll oder 12,7 Centimeter.	8 rheinische Zoll oder 20,9 Centimeter.	10 Pariser Zoll oder 27,1 Centimeter.
1000	508	836	1084
950	483	794	1030
900	457	752	976
850	432	711	919
800	406	669	865
750	381	627	813
700	356	585	759
650	330	553	704
600	305	502	650
550	279	460	596
500	254	418	542
450	223	376	488
400	203	334	434
350	179	293	379
300	152	251	325
250	127	209	271
200	102	167	217
150	76	125	163
100	51	84	108
75	38	63	81
50	25	42	54
25	13	21	27
10	5	8	11

Noch Ein Punkt darf aber nicht aus den Augen gelassen werden, dass nämlich die Vergrösserungsziffern, wenn sie auch für eine und dieselbe mittlere Sehweite berechnet sind, streng genommen doch nur für das Auge desjenigen, der die Bestimmung ausführte, vollkommen gültig sind. Es folgt dies schon aus demjenigen, was oben (S. 96 Anm.) über die Wirkung des einfachen Mikroskopes bei verschiedenen Augen angegeben worden ist, und was eben so gut auf jede Combination von Linsen passt, also auch auf das zusammengesetzte Mikroskop. Wo es demnach auf eine sehr genaue Kenntniss des Vergrösserungsvermögens eines Mikroskopes ankommt, z. B. bei den verschiedenen mikrometrischen Methoden, da muss jeder Beobachter dasselbe für sein Auge bestimmen.

Digitized by Google

Wenden wir uns jetzt zu den Methoden, deren man sich zur Bestimmnng der vergrössernden Kraft der Mikroskope bedienen kann. Allen ist das gemeinsam, dass zwischen der Grösse des anf die Entfernung der allgemeinen Sehweite projicirten Scheinbildes und zwischen der Grösse des bildliefernden Objectes, z. B. einer Mikrometertheilnng, ein Vergleich angestellt wird. 221

Der Mittel zur Projection des Scheinbildes ist in einem früheren Kapitel (§. 179) Erwähnung geschehen, und es ist ziemlich gleichgültig, welchen von diesen Mitteln man den Vorzug giebt. Wer sich jedoch im Doppelsehen (§. 185) hinlängliche Fertigkeit erworben hat, der kann die verschiedenen hierzu bestimmten Instrumente entbehren, da diese Methode durch Einfachheit sich anszeichnet und vor den übrigen Projectionsmitteln den Vorzug hat, dass das Bild unmittelbar ohne Reflexion und Lichtverlust gemessen wird; daher sie anch noch bei den stärksten Vergrösserungen anwendbar ist, wo die Camera lucida, das Sömmerring'sche Spiegelchen u. s. w. nicht ausreichen. Was Genauigkeit betrifft, so steht das Doppelsehen keiner dieser Methoden nach, wenn nur hinlängliche Uebung vorausgegangen ist.

Um die Vergrösserung mit Genauigkeit bestimmen zu könnnen, müssen einige Dinge in Obacht genommen werden, die der Reihe nach zu betrachten sind.

Zuvörderst fragt es sich, welches Object von bekannter Grösse dazu benutzt werden soll. Diese Frage scheint leicht beantwortet werden zu können, nnd doch liegt ein erschwerender Umstand darin, dass die Glas- und Schraubenmikrometer, welche aus verschiedenen Werkstätten kommen, lange noch nicht genau übereinstimmende Maasse angeben. Ich habe darüber ausführlicher in meinen *Recherches micrométriques* p. 7 gesprochen und werde später, wenn vom Messen mikroskopischer Objecte gehandelt wird, näher darauf zurückkommen; da wird sich herausstellen, dass man in dieser Beziehung gar viele Verschiedenheiten antrifft, die einen wesentlichen Einfluss auf die Vergrösserungsziffer üben können. Diese Zahlen werden nämlich um so grösser ausfallen, je kleiner der absolute Werth der gebrauchten Mikrometertheilung ist. Wenn z. B. die Maasseinheiten zweier Mikrometer sich wie 10 : 11 verhalten (und solche Differenzen kommen in der Wirklichkeit vor), so wird eine Vergrösserung von 400 Malen am ersten Mikrometer, für das zweite, bei der nämlichen Sehweite, eine 440fache sein. Jede Reihe von Grössenbestimmungen, wobei eine bestimmte mikrometrische Theilung zu Grunde gelegt ist, kann demnach nur für das zur Bestimmung benntzte Mikrometer als richtig anerkannt werden. Bei Glasmikrometern, welche aus der nämlichen Werkstätte kommen, und von denen man also annehmen darf, dass sie mit der nämlichen Theilmaschine angefertigt worden sind, darf man einen Schritt weiter gehen und annehmen, dass der absolute Werth des

Maasses immer der gleiche ist. Man darf sich dann etwas allgemeiner ausdrücken, und von einer Vergrösserung in Millimetern nach Oberhäuser, in Wiener Zollen nach Plössl, oder in englischen Zollen nach Ross u. s. w. reden.

Auch sind die Theilungen eines und desselben Mikrometers unter einander niemals vollkommen gleich. Dies ist namentlich bei Glasmikrometern der Fall, und deshalb ist es durchaus erforderlich, dass man nach einander die Scheinbilder einer gewissen Anzahl dieser Theilungen misst, um einen Mittelwerth zu bekommen, welcher der Wahrheit näher liegt. Dies ist in dem Maasse mehr nöthig, als die Vergrösserung weiter geht, denn man ist dann im Falle, auch kleinere Theilungen zu messen.

Bei einem guten Schraubenmikrometer fällt der Unterschied in den mit verschiedenen Theilen der Schraube genommenen Maassen im Allgemeinen geringer aus, und ein Object, dessen Durchmesser vorher mit grosser Genauigkeit dadurch bestimmt wurde, z. B. der Abstand zwischen zwei Strichen eines Glasmikrometers, kann weiterhin ganz zweckmässig benutzt werden, um die Vergrösserung zu ermitteln.

Beim Gebrauche eines Glasmikrometers hat man ferner auch auf die Dicke der mit dem Diamant gezogenen Striche Rücksicht zu nehmen. Bei guten Glasmikrometern ist diese Dicke allerdings unbedeutend, doch immer noch ansehnlich genug, dass sie bei etwas stärkeren Vergrösserungen nicht vernachlässigt werden darf. Die Mitte jedes Striches bezeichnet eigentlich die wahre Stelle, wo jede neue Abtheilung anfängt; beim wirklichen Messen ist es aber gerathener, die Ränder der Striche als Anfangspunkte zu betrachten, wenn man nur, wie es sich von selbst versteht, immer den nämlichen Rand dazu nimmt, sei es der rechte oder sei es der linke.

Aus dem einen oder dem anderen Grunde hat es sonach seine Bedenken, wenn man die stattfindende Vergrösserung durch die Theilungen von Glas- oder Schraubenmikrometern bestimmt; wo es auf grosse Genauigkeit ankommt, da muss es wünschenswerth sein, ein anderes Mittel ausfindig zu machen, das besser zu dem vorgesteckten Ziele führt. Dieses Mittel besteht darin, dass man einen dünnen Metalldraht viele Male (einige hundert Male) um einen dickeren Draht windet, dergestalt, dass jede Windung genau an der vorhergehenden anliegt, wovon man sich mittelst des Mikroskopes überzeugen muss. Nun misst man genau, welche Länge die von den gesammten Windungen eingenommene Strecke hat und zählt die Anzahl der Windungen, am besten durch Abwickeln auf der Drehbank. Man erhält dann die Dicke des Drahtes, wenn man die Gesammtlänge der an einander liegenden Windungen durch die Anzahl dieser Windungen dividirt. Ist man hierbei mit aller Sorgfalt verfahren, so hat man sich damit einen bestimmten Maassstab verschafft, der mit grösserer Zuverlässigkeit als irgend eine andere Mikrometerthei-

lung zur Bestimmung des Vergrösserungsvermögens benutzt werden kann. Belegende Beispiele dafür werde ich späterhin mittheilen.

Zu einer genauen Bestimmung der Vergrösserung ist dann zweitens nöthig, dass man auf die verschiedenartige Vergrösserung in der Mitte und an den Rändern des Gesichtsfeldes Rücksicht nimmt, welche Grössendifferenz durch die Krümmung des Bildes bedingt wird. Im einfachen Mikroskope ist diese Krümmung stets zugegen (§. 109), und sie lässt sich niemals vollständig beseitigen. Im zusammengesetzten Mikroskope ist dies zwar möglich, wenn man zwischen dem Collectivglase und dem Augenglase ein richtiges Verhältniss herstellt (§. 151); dieses Verhältniss ist aber keineswegs auch immer das beste, um die Aberrationen auf die vollkommenste Weise zu verbessern, und da die letztgenannte Verbesserung wichtiger ist, als die Erlangung eines ganz ebenen Gesichtsfeldes, so wird dieses letztere oftmals der grösseren Schärfe des Bildes in der Mitte des Gesichtsfeldes zum Opfer gebracht. Fast immer ist dann auch hier die Vergrösserung am geringsten, und nach den Rändern hin nimmt sie allmälig zu.

Bei der Bestimmung der vergrössernden Kraft muss man diesen Umstand berücksichtigen und die Messungen nur an jenen Theilen des Bildes vornehmen, die nicht zu fern vom Mittelpunkte des Gesichtsfeldes liegen. Hat man ein Ocular von Huygens, so kann man der Sicherheit wegen auf das Diaphragma, welches zwischen beiden Gläsern befindlich ist, einen Ring legen, der das Feld bis zur gewünschten Grösse verkleinert.

Drittens ist sorgfältig darauf zu achten, dass die Entfernung des Auges von der Fläche, auf welche das Scheinbild projicirt wird, immer genau die gleiche ist und der Sehweite, die als die allgemeine angenommen worden ist, gleichbleibt. Es kann aber geschehen, dass die Einrichtung des Instrumentes nicht erlaubt, das Scheinbild gerade in dieser Entfernung zu messen. So wird z. B. in vielen Fällen die Entfernung vom Objecttische bis an die obere Fläche des Oculares kleiner sein als die mittlere Sehweite, und man wird dann einen zu geringen Durchmesser erhalten, wenn man durch Doppelsehen das auf den Objecttisch projicirte Bild misst. Man kann denselben aber dann leicht auf jenen Durchmesser reduciren (§. 220), den das Bild gehabt haben würde, wenn die Oberfläche des Objecttisches sich genau in der Sehweiteentfernung befunden hätte. Für mikrometrische Zwecke ist es auch wünschenswerth, dass man die Vergrösserungen kennt, welche, ohne dass man auf die Sehweiteentfernung Rücksicht nimmt, dem Abstande des Objecttisches oder des Tisches, worauf das Mikroskop steht, entsprechen.

Viertens muss das Auge während des Messens möglichst unbeweglich gehalten werden; denn sowie sich das Auge um seine Queraxe bewegt, ändert sich auch die Stelle des Scheinbildes.

Fünftens endlich ist es durchaus nicht gleichgültig, auf welche Weise die Messung ausgeführt wird. In der Regel empfiehlt man, das Scheinbild auf einem getheilten Maassstabe aufzufangen, und verlangt man die Vergrösserung nur nahezu kennen zu lernen, dann kann man sich damit begnügen. Zu einer einigermaassen genauen Bestimmung dagegen muss man einen Cirkel benutzen, dessen Spitzen fein genug sind, um auch Theile eines Millimeters damit messen zu können. Gewöhnlich benutze ich dazu einen Doppelcirkel, dessen lange Schenkel das mit den kurzen gefundene Maass verfünffachen. Ein guter gewöhnlicher Cirkel ist aber auch brauchbar, wenn man nur weiterhin das Maass mit Hülfe einer gehörig feinen Scala ermittelt, auf der z. B. noch Zehntheile des Millimeters angegeben sind. Hat man keine solche Scala, so kann man dadurch zum Ziele kommen, dass man auf einem Papiere eine gerade Linie zieht und auf diese das gefundene Maass zehnmal überträgt. Der zehnte Theil der Gesammtlänge ist dann natürlich das gesuchte Maass.

Benutzt man zur Projection ein katoptrisches Hülfsmittel, so hat man nicht nöthig, das Bild direct mit dem Cirkel zu messen; bequemer ist es dann, dasselbe auf einer Schiefertafel aufzufangen, und seine Begrenzungen mit der feinen Spitze eines Griffels darauf zu zeichnen. Eine Anzahl solcher aufgezeichneter Maasse kann weiterhin nach einander mit dem Cirkel bestimmt werden, und daraus lässt sich dann der mittlere Werth herausfinden.

Hat man auf die vorher angeführte Weise das Feld eines zusammengesetzten Mikroskopes mittelst eines in das Ocular eingesetzten Ringes verkleinert, so kann man auch den Durchmesser des Scheinbildes dieses Feldes messen und dann zählen, wie viele Abtheilungen eines Mikrometers darin enthalten sind. Dieses Verfahren ist aber weniger genau, als wenn man das Scheinbild des als Maassstab benutzten Objectes selbst direct misst, weil der Rand des Feldes natürlich nicht allemal genau auf die Grenze einer Mikrometertheilung fällt.

222 In einem zusammengesetzten Mikroskope ist die Vergrösserung gleich dem Producte, welches erhalten wird, wenn man den Vergrösserungswerth des Objectivsystemes mit jenem des Oculares multiplicirt. Es ist aber nicht nöthig, dass man diese Vergrösserungen alle einzeln bestimmt; kennt man die Vergrösserungswerthe eines einzelnen Objectivsystemes mit den verschiedenen Ocularen, und jene eines einzelnen Oculares mit den verschiedenen Objectivsystemen, dann lassen sich die Vergrösserungswerthe der übrigen Combinationen leicht durch Rechnung auffinden.

Wir wollen annehmen, die Vergrösserungen eines Mikroskopes mit sechs Objectivsystemen und vier Ocularen sollen bestimmt werden. Es giebt dann vierundzwanzig verschiedene Vergrösserungen. Doch braucht man nur neun zu bestimmen, denn die übrigen fünfzehn lassen sich daraus berechnen. Man hat z. B. gefunden, dass das schwächste Ocular mit den sechs Objectiven

35, 82, 140, 283, 375 und 490 Male vergrössert, und dass das Objectivsystem Nr. 3 mit den verschiedenen Ocularen 140, 217, 322 und 431 Male vergrössert. Die vergrössernde Kraft des schwächsten Oculares, dessen vergrössernde Kraft mit den übrigen Objectivsystemen auch bekannt ist, verhält sich dann zu jener der übrigen Oculare wie 1 : 1,55 : 2,3 : 3,08. Multiplicirt man die Zahlen der zuerst aufgeführten Reihe mit diesen unveränderlichen Coefficienten, so bekommt man die Vergrösserungen der Objectivsysteme mit jedem Oculare. Der Coefficient für das Ocular Nr. 3 ist z. B. 2,3; mit Weglassung der Bruchtheile treffen daher auf dasselbe die Vergrösserungswerthe 81, 189, 322, 651, 863, 1127.

Bei manchen Untersuchungen, z. B. beim Zählen von Objecten oder von Theilen eines Objectes, die sich in einem bestimmten Raume befinden, ist es wünschenswerth, dass man den wahren Durchmesser des Gesichtsfeldes und dessen quadratischen Inhalt kennt, da dieser gleich ist dem Theile der Oberfläche eines Objectes, das sich unterm Mikroskope befindet. Diese Bestimmung kann gleichzeitig mit jener der Vergrösserung stattfinden, und es ist vortheilhaft, wenn man die Resultate auf der Tafel der Vergrösserungszahlen mit verzeichnet. Hierzu wird nur erfordert, dass man den Durchmesser vom Scheinbilde des Feldes in der Sehweiteentfernung bestimmt. Da aber, wenn katoptrische Mittel zur Projection benutzt werden, immer nur ein Theil des Feldes übersehen wird, so kann zu diesen Bestimmungen nur das Doppelsehen in Anwendung kommen. Auch hier genügt eine kleine Anzahl von Messungen, da die scheinbare Grösse des Feldes blos vom Oculare abhängt. Man braucht dasselbe daher nur für die verschiedenen Oculare zu messen, und die gefundenen Werthe mit den Vergrösserungen zu dividiren. Für das schwächste Ocular des eben als Beispiel gewählten Mikroskopes ist z. B. der scheinbare Durchmesser des Gesichtsfeldes $= 172^{mm}$ gefunden worden. Mit dem schwächsten Objectivsysteme ist demnach sein wahrer Durchmesser $\frac{172}{35} = 4{,}91^{mm}$, und mit den übrigen Objectivsystemen für das nämliche Ocular $= 2{,}10$, $1{,}23$, $0{,}61$, $0{,}46$ und $0{,}35^{mm}$. Den quadratischen Inhalt des Gesichtsfeldes bekommt man dann, wenn man das Quadrat des Halbmessers mit 3,142 multiplicirt. Ist der Durchmesser des Feldes $= 4{,}91^{mm}$, so ist dessen quadratischer Inhalt $= 2{,}455 \,.\, 2{,}455 \,.\, 3{,}142 = 18{,}925$ Quadratmillimeter. 223

Zehntes Kapitel.

Das optische Vermögen des Mikroskopes.

224 Es ist ein sehr verbreiteter Irrthum, dass man das Hauptverdienst eines Mikroskopes in dessen vergrössernder Kraft sucht. Auch pflegen Unkundige, wenn von einem Mikroskope die Rede ist, zuerst die Frage aufzuwerfen, wie weit dessen vergrössernde Kraft geht. Dieser Irrthum entspringt aus einer unvollständigen und selbst unrichtigen Vorstellung von der eigentlichen Bestimmung dieses Instrumentes. Bei Abschätzung der relativen Tüchtigkeit eines Mikroskopes kommt in der That dessen Vergrösserungsziffer nur eine untergeordnete Bedeutung zu, und bei der Wahl zwischen zwei Mikroskopen hat man nicht darnach zu fragen, welches von beiden am stärksten vergrössert, sondern vielmehr darnach, welches der beiden Instrumente bei der schwächsten Vergrösserung die nämlichen Objecte gleich gut erkennen lässt, oder, was dasselbe ist, welches von beiden bei gleicher Vergrösserung an dem einen oder dem anderen Objecte die meisten und am schwierigsten wahrnehmbaren Einzelnheiten erkennen lässt.

Für die Prüfung des optischen Vermögens eines Mikroskopes ist mithin ein anderer Maassstab anzuwenden, und einen solchen hat man an den Bildern der Objecte, welche durch das Mikroskop gesehen werden. Dass der Grad der Vergrösserung dieser Bilder dabei nur wenig in Betracht kommt, erkennt man alsbald, wenn man ältere Mikroskope mit jenen aus der neueren Zeit vergleicht. Unter den ersteren findet man solche, die 600 bis 700 Male und noch mehr vergrössern. Untersucht man aber die nämlichen Objecte durch sie und durch unsere neueren Mikroskope, so zeigt es sich, dass das eigentliche optische Vermögen der älteren Instrumente bereits bei einer 80- bis 100maligen Vergrösserung von den neueren erreicht, vielleicht gar übertroffen wird. Fragen wir nach dem Grunde dieser grösseren Vorzüglichkeit, so lassen sich zwei Momente dafür auffinden, die zwar nicht unabhängig von einander sind, von denen aber jedes für sich einen bestimmten Einfluss ausübt, nämlich 1) die Verbesserung der Aberrationen, und 2) die grössere Oeffnung, welche den Objectiven dem zu Folge verschafft werden kann. Einzelnheiten über den Einfluss dieser beiden Momente auf das optische Vermögen der Mikroskope sind näher zu besprechen.

225 Als nothwendige Folge der sphärischen und chromatischen Aberration macht sich, wie früher (§. 49, 55 bis 57) nachgewiesen wurde, man-

gelnde Schärfe der Umrisse geltend, oder, um es mit einem Worte auszudrücken, eine Nichtbegrenzung der Bilder. Durch die chromatische Aberration entstehen farbige Ränder, und selbst da wo sie fehlt, wie bei jenen durch sphärische Hohlspiegel erzeugten Bildern, haben die Ränder doch etwas Nebelartiges, weil man nicht ein einziges Bild sieht, sondern eine Schicht über einander liegender Bilder von verschiedener Grösse. Wären beide Aberrationen vollständig aufgehoben, so würden auch die Bilder vollkommen begrenzt sein. Nun kann man freilich bei keinem einzigen dioptrischen oder katoptrischen Instrumente, das zur Bilderzeugung bestimmt ist, diesen höchsten Grad von Vollkommenheit erreichen; eine Annäherung ist aber doch wenigstens zu erzielen, und je grösser die Verbesserung der Aberration ist, um desto besser begrenzt werden die durch das Instrument wahrgenommenen Bilder sich darstellen. Jene Seite des optischen Vermögens eines Instrumentes, wo die Verbesserung der beiden Aberrationen in Betracht kommt, kann man daher mit dem Namen Begrenzungsvermögen oder definirende Kraft (*defining power*) belegen. Man könnte auch eben so gut von einem Vermögen der Sichtbarmachung reden, denn es werden im Allgemeinen um so kleinere Objecte noch wahrgenommen werden können, je schärfer deren begrenzende Umrisse sind. Davon muss ein anderes Vermögen wohl unterschieden werden, welches mit der Grösse des Oeffnungswinkels des Objectivsystemes gleichen Schritt hält, und das man in der Regel als Durchdringungsvermögen oder penetrirende Kraft (*penetrating power*) bezeichnet, ein Namen, der, wie sich bald herausstellen wird, eigentlich unrichtig ist und besser durch die Bezeichnung Unterscheidungsvermögen ersetzt werden würde *). Nachdem nämlich William Herschel (*Philos. Transact.* 1800, p. 49) zuerst auf den erheblichen Einfluss aufmerksam gemacht hatte, den die Grösse der Oeffnung bei Spiegelteleskopen auf das Wahrnehmbarmachen

*) Es ist um so mehr geboten, das Wort Durchdringungsvermögen durch ein anderes zu ersetzen, da man nach dem Vorgange von Carpenter (*The Microscope.* 3. Ed. p. 186) dasselbe in einem anderen Sinne zu gebrauchen angefangen hat, als es ursprünglich von Goring geschehen ist. Das Durchdringungsvermögen eines Mikroskopes beruht nämlich nach Carpenter darin, dass man Theile eines Objectes, die etwas ausserhalb des Brennpunktes liegen, noch deutlich erkennt, d. h. mit anderen Worten, die Tiefe des Gesichtsfeldes würde das Durchdringungsvermögen bestimmen. Brooke (*Quart. Journ. Transact.* April 1864, p. 69) und Plumer (Ib. July 1864, p. 162) haben sich dieser Auffassung bereits angeschlossen, und es lässt sich vorhersehen, dass diese zweifache Bedeutung des Wortes bald zu grosser Verwirrung Veranlassung geben wird. Es erscheint deshalb rathsam, dieses Wort ganz fallen zu lassen, es wenigstens nicht mehr in der Goring'schen Bedeutung zu gebrauchen, die in der That eine ganz unrichtige ist, und es durch die viel passendere Bezeichnung Unterscheidungsvermögen zu ersetzen. Das ebenfalls in Aufnahme gekommene Wort Auflösungsvermögen oder Resolvirung drückt das Nämliche aus, aber mehr in unmittelbarer Beziehung zu den Probeobjecten, die zur Prüfung des genannten Vermögens in Anwendung kommen.

Digitized by Google

kleiner, oder richtiger gesagt, entfernter lichtschwacher Körper am Himmel ausübt, weshalb er die Kraft des Teleskopes, dieselben sichtbar zu machen, als ein den Raum durchdringendes Vermögen bezeichnete, ist dann von Goring und nach diesem von vielen Anderen derselbe Name auf jenen Antheil des optischen Vermögens eines Mikroskopes übertragen worden, der die Folge ansehnlicher Vergrösserung des Oeffnungswinkels ist, wie sie durch Verbesserung der Aberrationen in den aplanatischen Systemen möglich geworden war. Man darf jedoch nicht aus den Augen verlieren, dass beiderlei Instrumente nur dann vollkommen vergleichbar sind, wenn man durch beide positive Lichtbilder erhält. Das ist beim Teleskope der Fall, wenn dasselbe nach leuchtenden Gegenständen am Himmel gekehrt ist, und beim Mikroskope dann, wenn man Gegenstände bei auffallendem Lichte betrachtet. Es bedarf keines Beweises, dass die Sichtbarkeit alsdann mit der Lichtstärke des Bildes zunimmt, folglich auch mit der Grösse des Oeffnungswinkels des Objectives.

Unter Durchdringungsvermögen des Mikroskopes hat man aber eigentlich etwas ganz anderes verstanden, nämlich die Fähigkeit desselben, unterscheidbar feine Strichelchen und Pünktchen zur Wahrnehmung zu bringen, die sich ganz nahe bei einander befinden, und die, wenn sie auch an und für sich nicht undurchsichtig sind, doch besonders sichtbar werden, sobald die sie treffenden Strahlen sich in verschiedenen Richtungen zerstreuen, also nicht ins Mikroskop eintreten, wo dann durch diese Strichelchen und Pünktchen negative Netzhautbildchen entstehen. Die besten Beispiele dafür liefern die Längs- und Querstreifen auf den Schuppen der Schmetterlinge und besonders die feinen Zeichnungen auf den Kieselschalen vieler Diatomeen.

Es ist nun ganz richtig, dass dieses Vermögen, falls die Correction der Aberrationen unverändert bleibt, mit der Grösse des Oeffnungswinkels ganz gleichen Schritt hält; unrichtig dagegen ist es, wenn man dies einer Zunahme der Lichtstärke zuschreiben will, welche mit der Vergrösserung des Oeffnungswinkels gepaart geht. Davon kann man sich auf doppelte Weise überzeugen. Man stelle zwei einander ganz gleiche Mikroskope neben einander, mit Objectiven von gleicher Brennweite und gleichem Oeffnungswinkel, mit gleichen Ocularen und Beleuchtungsapparaten, mittelst deren das Gesichtsfeld nach Willkür schwächer und stärker beleuchtet werden kann, und bringe dann nach einander das nämliche Object unter jedes der beiden Mikroskope, z. B. eine Naviculacee oder noch besser ein Probetäfelchen von Nobert. Ist das optische Vermögen beider Instrumente volkommen gleich und das Gesichtsfeld gleich stark beleuchtet, so wird man natürlich durch beide gleich deutlich und unterscheidbar die feinen Strichelchen und deren Interstitien sehen. Sobald man aber auf das Objectiv des einen Mikroskopes einen Ring, etwa aus schwarzem Papier, legt und dadurch die Oeffnung des Linsen-

systems verkleinert, werden die Strichelchen und deren Interstitien undeutlicher, ja sie verschwinden zuletzt ganz, wenn man immer breitere und breitere Ringe nimmt und die Oeffnung immer kleiner macht. Dabei nimmt allerdings zugleich auch die Lichtstärke des Bildes im Gesichtsfelde ab, aber das Unsichtbarwerden der Strichelchen kann davon doch nicht herrühren. Denn wenn man durch eine Modification des Beleuchtungsapparates das Gesichtsfeld wiederum gleich stark beleuchtet, als dasselbe in dem nebenstehenden Mikroskope beleuchtet erscheint, so findet man, dass diese Lichtverstärkung auch nicht den geringsten Einfluss übt. Wäre dies der Fall, dann würde das sogenannte Durchdringungsvermögen eines Mikroskopes um so grösser werden, je mehr man die Beleuchtung verstärkt; es verhält sich aber gerade umgekehrt, d. h. um solche feine Strichelchen zu sehen, muss man einen nur mässigen Beleuchtungsgrad benutzen.

Diese Seite des optischen Vermögens eines Mikroskopes ist demnach nicht, gleich dem Durchdringungsvermögen des Teleskopes, durch die Lichtstärke der Bilder bedingt, sondern lediglich dadurch, dass ein Bild, welches durch ein Objectiv mit grösserem Oeffnungswinkel erzeugt wird, aus der Vereinigung einer grösseren Anzahl Strahlenbündel hervorgeht, deren Axen einen grösseren Winkel mit der optischen Axe des Instrumentes bilden. Vornehmlich also durch die Randstrahlen werden solche feine Strichelchen sichtbar. Der Beweis dafür lässt sich geben, wenn man statt der erwähnten ringförmigen Diaphragmen auf die oberste Linse des Objectives undurchsichtige Scheibchen von verschiedener Grösse legt, wodurch die centralen Strahlen abgehalten und nur die Randstrahlen frei durchgelassen werden. Dadurch erfährt zwar die Lichtstärke eine Abnahme, nicht aber das Durchdringungsvermögen, ja dieses nimmt sogar nicht selten zu, wenn das Gesichtsfeld früherhin zu hell beleuchtet war und dadurch die schwachen negativen Bilder der feinen Strichelchen weniger hervortraten.

Ganz die gleiche Wirkung haben auch die centralen Diaphragmen im Beleuchtungsapparate (§. 208), die ebenfalls das Licht vermindern und dessen ungeachtet ein gewichtiges Hülfsmittel sind, um solche feine Strichelchen wahrnehmbar zu machen. Früher sahen wir nun, dass dies von der Beleuchtung durch schief auffallende Strahlen herrührt, ausser wenn das auf das Object geworfene Lichtbündel aus divergirenden oder aus convergirenden Strahlen besteht. Es ist aber klar, dass durch die grössere Oeffnung des Objectives auch ein grösserer Theil der auswärts liegenden, also schiefen Strahlen des Lichtbündels zu treten vermag, mit anderen Worten, dass an der Erzeugung des Bildes des Gesichtsfeldes durch das Objectiv die schiefen Strahlen um so mehr und überwiegend Antheil nehmen, je grösser die Oeffnung ist. Da nun gerade die am meisten schief auffallenden Strahlen am weitesten von ihrer Bahn abge-

Digitized by Google

brochen werden, wenn sie auf kleine Verdickungen oder Vertiefungen in einem sonst durchsichtigen Körperchen treffen, so kann es nicht fehlen, dass durch die zunehmende Menge der schiefen Strahlen im Bilde die localen Verdicknngen oder Vertiefungen sich um so deutlicher als Strichelchen oder als Pünktchen darstellen müssen *).

226 In einem optisch vollkommenen Mikroskope müssten das begrenzende und das unterscheidende Vermögen gleichen Schritt halten. Die Erfahrung lehrt aber, dass dies mit unseren gegenwärtigen Mikroskopen nicht der Fall ist. Der wesentliche Grund davon ist darin zu suchen, dass die Correction der Aberrationen, namentlich der sphärischen Aberration, in den aplanatischen Linsensystemen nicht gleichmässig für die centralen und für die peripherischen Abschnitte stattfindet. Sobald nun die Oeffnung der Objective eine bestimmte Grenze überschreitet, kann zwar das unterscheidende Vermögen noch zunehmen, das begrenzende Vermögen dagegen erfährt eine Abnahme. Die Ränder der Objecte, die man bei durchfallendem Lichte betrachtet, werden ausserdem immer blasser und blasser, einestheils deshalb, weil das Bild im Brennpunkte des Oculares aus nicht ganz genau zusammenfallenden einzelnen Bildern zusammengesetzt ist, anderentheils deshalb, weil, wenn Ein Strich in zwei oder mehr dünnere zerfällt, jeder einzelne weniger wahrnehmbar sein wird, als die frühere Vereinigung dieser Striche. Jede organische Haut, wie die Wand einer Zelle u. s. w., hat zwei Oberflächen, eine äussere und eine innere. Hat ein Mikroskop ein ausreichend durchdringendes oder unterscheidendes Vermögen, dann werden sich die Ränder der beiden Oberflächen als besondere Streifen mit einem hellen Interstitium darstellen,

*) Ganz abweichend hiervon ist die Darstellung bei Naegeli und Schwendener (*Das Mikroskop*. I, S. 77). Nach ihnen soll das Durchdringungsvermögen oder das Unterscheidungsvermögen durchaus unabhängig sein vom Oeffnungswinkel des Objectivsystems, und Objectivsysteme mit grösserem Oeffnungswinkel sollen nur deshalb für gewöhnlich ein grösseres Unterscheidungsvermögen besitzen als andere mit kleinem Oeffnungswinkel, weil in ihnen der peripherische Theil in stärkerem Maasse von Aberration befreit ist als der centrale. Das Begrenzungs- und Unterscheidungsvermögen wollen sie nicht, wie es gewöhnlich geschieht, als Gegensätze gelten lassen, sondern dieselben sollen eigentlich zusammenfallen. Gelänge es, den centralen Theil eines Linsensystems in gleichem Maasse zu verbessern, als den peripherischen Theil, dann würde man, meinen sie, sicherlich Objective mit 12 bis 15° Oeffnung herstellen können, die bei passender Beleuchtung gleichviel leisteten, als Objective mit einem Oeffnungswinkel von 80 bis 120°.

Die praktische Optik könnte nur dabei gewinnen, wenn die Sachen sich wirklich so verhielten. Allein wie gründlich ich auch die Auseinandersetzung der genannten Forscher lesen und überdenken mag, ich kann mich ihnen nicht anschliessen. Ihre Beweisführung basirt auf die etwas abweichende Ansicht, die sie über die Wirkungsweise des Beleuchtnngsapparates sich angeeignet haben. Es würde aber zu weit führen, wollte ich ausführlich die Gründe auseinander setzen, weshalb ich an meiner früheren Auffassung, womit die meisten neueren Mikroskopiker zusammenstimmen, auch jetzt noch festhalte.

Digitized by Google

und es versteht sich von selbst, dass jeder von diesen Streifen viel dünner und deshalb schwerer wahrnehmbar sein wird, als wenn das sie trennende Interstitium nicht zur Wahrnehmung gelangt. Daher kann es geschehen, dass gerade in Folge dieses grösseren unterscheidenden Vermögens sehr dünne nnd durchscheinende Objecte nicht mehr wahrnehmbar sind, sobald die dadurch entstehenden negativen Netzhantbildchen zu klein werden, während, wenn zwei oder mehr davon zusammenfallen, diese einen znr Erkennung ausreichenden Eindruck auf den Sehnerven machen.

Es folgt aus dieser Betrachtung, dass das Vermögen der Sichtbarmachnng bei einem Mikroskope leiden kann, wenn man die Vermehrung des Unterscheidungsvermögens zu weit treibt, und da ersteres für die meisten praktischen Zwecke der Mikroskopbenutzung das meiste Gewicht hat, so erscheint es nicht räthlich, sich zu ausschliesslich auf die Vergrösserung des Oeffnungswinkels der Linsensysteme zu verlegen, wie es in den letzten Jahren, znmal in England, der Fall war. Es mnss darin ein gewisses Maass eingehalten werden, das sich blos dnrch die Erfahrung bestimmen lässt. Auch davor hat man sich zu hüten, dass man die Tüchtigkeit eines Mikroskopes zu einseitig nach dem Maassstabe abschätzt, den eine einzelne Classe von Probeobjecten an die Hand giebt. Von den Mitteln zur Untersuchung des optischen Vermögens eines Mikroskopes wird aher in einem folgenden Kapitel ausführlicher gehandelt werden.

Man kann noch die Frage aufwerfen, ob es nicht möglich sei, ein Mikroskop so einzurichten, dass nach Willkür und je nach der besondern Art der Objecte sein begrenzendes oder sein nnterscheidendes Vermögen verstärkt wird. So etwas würde durch zwei verschiedene Sätze von Objectiven ausführbar sein, deren einer ein grösseres begrenzendes, der andere ein grösseres nnterscheidendes Vermögen besässe. Offenbar müsste aber der Preis eines Mikroskopes dadurch sehr erhöht werden, da es gerade die stärksten also auch thenersten Linsensysteme wären, die man doppelt zu besitzen wünschen müsste. Es erscheint aber auch recht wohl möglich, dass dieses Ziel noch auf eine andere Weise erreicht werden kann, indem man nämlich bei solchen Linsensystemen, die ein grosses unterscheidendes nnd dafür ein zn geringes begrenzendes Vermögen besitzen, die Oeffnung temporär verkleinert. Schon eine passende Benntzung des Beleuchtungsapparates kann dabei mehr oder weniger zu Gute kommen. Ist der Durchmesser des Lichtbündels, welches anf die unterste Linse des Objectives fällt, kleiner als der Durchmesser dieser Linse, so wird dadurch nur jener Theil der Linsenöffnung verwendbar gemacht, durch welchen die Lichtstrahlen eintreten. Der Nntzen der ringförmigen Diaphragmen beruht zum Theil auf solcher Verkleinerung des Lichtbündeldurchmessers. Eine zweite und noch zuverlässigere Methode bietet sich aber darin, dass man die Oeffnung der dem Objecte

zugekehrten Linse des Objectivsystems verkleinert, indem man unmittelbar auf dieselbe eine kleine Platte legt mit einer Oeffnung, deren Axe genau mit jener der Linse zusammenfällt. Man würde es auch so einrichten können, dass eine um eine Spindel drehbare kleine Platte mit Oeffnungen von verschiedener Grösse sich über die Linse hin bewegte *) und in der Weise, wie es für die grösseren Diaphragmen im Beleuchtungsapparate angeführt worden ist, die genaue centrische Stellung jeder Oeffnung der Platte durch einen kleinen Zahn in der drehenden Scheibe markirt, und durch eine kleine Feder fixirt würde. Es ist mir nicht bekannt, ob man Linsensystemen mit sehr grossem Oeffnungswinkel bereits eine solche verbessernde Einrichtung gegeben hat; der Nutzen derselben unterliegt aber wohl keinem Zweifel.

Elftes Kapitel.

Prüfung des optischen Vermögens eines Mikroskopes.

227 Nachdem die Einrichtung und die Wirkungsweise der verschiedenen Mikroskope im Allgemeinen betracht worden sind, kann jetzt zur speciellen Auseinandersetzung der Regeln übergegangen werden, welche bei Beurtheilung des optischen Vermögens eines Mikroskopes zu beachten sind, sowie zur Besprechung der hierzu dienlichen Mittel.

Folgende Punkte, die der Reihe nach untersucht werden sollen, kommen dabei in Betracht:

1) Der Grad des Aplanatismus oder der Verbesserung beider Arten von Aberration.

2) Die Brennweite und die Grösse des Oeffnungswinkels, und zwar beim einfachen Mikroskope der Linse oder des Linsensystems, beim zusammengesetzten dioptrischen Mikroskope des Objectives, beim katadioptrischen Mikroskope des Spiegels.

3) Die grössere oder geringere Vollkommenheit der Politur an den Oberflächen der Linsen und Spiegel, sowie die Homogeneität der Substanz der Linsen.

---

*) Die beste Stellung für eine solche drehbare Scheibe würde natürlich gerade unter der untersten Objectivlinse sein. Wie dünn aber auch eine solche Platte gearbeitet wird, es steht zu besorgen, wenigstens bei den am stärksten vergrössernden Systemen, welche dem Objecte sehr genähert werden, dass diese Stellung nicht ausführbar sein wird.

Digitized by Google

4) Die Lichtstärke des Mikroskopes ohne den Beleuchtungsapparat und mit demselben, sowie die Färbung des Gesichtsfeldes.

5) Die Genauigkeit der Centrirung an den verschiedenen Theilen des optischen Apparates.

6) Die Ausdehnung des Gesichtsfeldes.

7) Der Grad der Krümmung und Wölbung des Gesichtsfeldes.

8) Das begrenzende oder sichtbarmachende Vermögen.

9) Das unterscheidende oder anflösende Vermögen.

10) Das vergrössernde Vermögen.

Um den Grad der Verbesserung beider Aberrationen zu 228
untersuchen, kenne ich kein geeigneteres Verfahren als jenes, welches zuerst von Lister, späterhin aber von Goring und auch von Mohl empfohlen worden ist. Es wird nämlich das Bildchen eines Fensterrahmens, der sich in einem Quecksilbertropfen abspiegelt, als Object benutzt. Zu dem Ende bringt man ein Paar kleine Quecksilbertropfen, wie man sie erhält, wenn Quecksilber mit Wasser in einer Flasche geschüttelt wird, auf eine matt geschwärzte kleine Tafel, und stellt das Mikroskop 3 bis 4 Meter vom Fenster entfernt auf. Auf jedem Tropfen, der durchs Mikroskop betrachtet wird, hat man dann ein Bildchen des Fensters, das grösser oder kleiner ist, je nach der Grösse des Tropfens und seiner Entfernung vom Fenster. — Zu dem nämlichen Zwecke wurde von Moser (*Repertor. d. Phys.* V. S. 399) ein Quecksilberfaden in einem feinen Haarröhrchen empfohlen, der auch wirklich ganz gut dazu genommen werden kann und noch den Vortheil bietet, dass er auf einer Objecttafel befestigt und mit einem auf einem Papierringe ruhenden Deckplättchen bedeckt sich aufbewahren lässt, daher immer bei der Hand ist, wenn man den Aberrationszustand des Mikroskopes prüfen will. Nur muss man ein ganz dünnes, vor dem Glasgebläse ausgezogenes Röhrchen dazu nehmen, und bei der Beurtheilung die Dicke der Wandung mit in Anschlag bringen, die natürlich den gleichen Einfluss übt wie ein Deckplättchen.

Betrachtet man ein so entstandenes Bild durch ein Mikroskop ohne chromatische Aberration, etwa durch ein katadioptrisches Mikroskop, das ausserdem noch einen elliptischen Spiegel zur Aufhebung der sphärischen Aberration besitzt, so wird man dasselbe, falls es in der gehörigen Entfernung sich befindet, scharf begrenzt sehen, ohne eine Spur von Lichtnebel um dasselbe. Das ganze Gesichtsfeld erscheint vollkommen schwarz, mit Ausnahme des Bildchens in demselben. Aendert man dann den Abstand des Mikroskopes vom Bildchen, so verschwindet letzteres fast auf Einmal und es entsteht ein runder, jedoch nicht scharf begrenzter Lichtkreis; doch auch jetzt breitet sich noch kein Lichtnebel über das Gesichtsfeld aus.

Digitized by Google

In der Wirklichkeit kommt eine so vollkommene Beseitigung der sphärischen Aberration niemals vor, weder bei katoptrischen noch bei dioptrischen Mikroskopen; sie können aber nach dem Früheren (§§. 63 u. 159) in dieser Hinsicht überverbessert oder unterverbessert sein. In beiden Fällen zeigt sich ein Lichtnebel um das Bildchen, und durch Veränderung des Abstandes entdeckt man, ob die Aberration unter- oder überverbessert ist. Besteht Unterverbesserung, so werden, wenn das Bildchen aus seiner richtigen Stellung nach unten bewegt wird, eine Zeitlang dessen Umrisse noch sichtbar sein, während sich gleichzeitig der obengenannte Lichtkreis bildet. Nähert man dagegen das Bildchen dem Mikroskope, so verschwindet es auf einmal. Gerade das Gegentheil beobachtet man, wenn die sphärische Aberration überverbessert ist: das Bildchen verschwindet auf einmal, wenn es entfernter rückt.

Bei dioptrischen Mikroskopen werden diese Ercheinungen etwas zusammengesetzter, weil man hier auch zugleich mit den Wirkungen der chromatischen Aberration zu thun hat. Der Grad von Unter- oder Ueberverbesserung der letztern lässt sich aber durch die nämlichen Hülfsmittel bestimmen. Befindet sich das Bildchen in der gehörigen Entfernung, bei welcher es am schärfsten hervortritt, dann werden sich an dessen Rändern deutliche prismatische Farben zeigen, sobald das benutzte Mikroskop nicht achromatisch ist. Nähert man dann das Bildchen dem Mikroskope, bis es sich bis zu dem bereits erwähnten Lichtkreise ausbreitet, so wird man an diesem einen ziemlich breiten rothen Saum bemerken, der nach der Peripherie hin ins Gelbrothe übergeht; rückt man das Bildchen weiter vom Mikroskope weg, dann bekommt der Lichtkreis einen violetten Saum.

Wird das Bildchen auf die nämliche Art mittelst eines guten achromatischen Mikroskopes untersucht, so wird man wenige oder gar keine Spuren prismatischer Farben an demselben bemerken. Wird dann die richtige Entfernung abgeändert, so bilden sich zwar auch noch gefärbte Säume an dem Lichtkreise; dieselben sind aber schmaler, als bei einem nicht achromatischen Mikroskope. Vollständig fehlen sie indessen niemals, und das kann auch gar nicht vorkommen, einmal weil eine achromatische Doppellinse und eben so ein System solcher Linsen nur bei einem bestimmten Abstande des Objectes vom Mikroskope von chromatischer Aberration frei sein kann (§. 63), zum anderen aber deshalb, weil auch bei möglichst vollkommenem Achromatismus noch die Farben des secundären Spectrums übrigbleiben (§. 61). Wäre auch die Verbesserung eine möglichst vollkommene, immer würden noch farbige Säume entstehen, so wie das Bildchen weiter rückt oder sich mehr nähert. Man kann daher nur aus dem Mehr oder Weniger der auftretenden Färbung auf die mehr oder weniger vollständige Beseitigung der chromatischen Aberration schliessen. Ist diese unterverbessert, dann werden sich die rothen und

Digitized by Google

blauen Säume, wenn schon in schwächerem Grade, unter den nämlichen Umständen zeigen, wie bei einem nichtverbesserten Mikroskope, während bei stattfindender Ueberverbesserung ihre Ordnung sich umkehrt, also beim Fortrücken des Bildchens ein rother Saum entsteht, bei dessen Annäherung dagegen ein blauer.

Hat das Mikroskop eine sehr kurze Brennweite, so hält es schwer, das Fensterbildchen in dem Quecksilbertropfen noch zur Anschauung zu bringen, weil dann der Gang der Strahlen durch den Rand des Röhrchens, welches die Linsen einschliesst, behindert ist. In diesem Falle kann man nach Goring's Rathe statt des Quecksilbertropfens kleine Luftbläschen benutzen, die man leicht erhält, wenn man eine dickflüssige Masse, wie Eiweiss, Canadabalsam mit Terpentinöl mengt, oder wenn man eine Gummilösung u. s. w. schüttelt. Solche Luftbläschen wirken wie kleine Zerstreuungslinsen und erzeugen so Scheinbilder von allen Objecten, deren Strahlen durch den Beleuchtungsspiegel reflectirt werden. Natürlich muss man hierzu einen Planspiegel gebrauchen. Da man aber diese Bilder nicht auf einem dunkeln Grunde sieht, wie beim Quecksilberkügelchen, vielmehr auf einem hellen Hintergrunde, so eignen sie sich weniger dazu, den Grad der Aberrationsverbesserung zu untersuchen; namentlich die Charaktere der sphärischen Aberration treten an ihnen weit weniger hervor. Aus diesem Grunde verdienen die Quecksilberkügelchen weitaus den Vorzug, und nur dann, wenn man sehr starke Linsen und Objective zu prüfen hat, kann man genöthigt werden, zu den Luftbläschen seine Zuflucht zu nehmen *).

Es sind auch noch andere Methoden anempfohlen worden, namentlich zur Prüfung der sphärischen Aberration. Goring benutzte dazu eine emaillirte Platte mit weissen Ziffern auf einem schwarzen Hintergrunde. Mohl trug auf eine Glasplatte eine dicke Schicht ostindische Tinte auf, und zeichnete da hinein mit einer Nadel kleine Ringe und andere Figuren, die dann bei durchfallendem Lichte betrachtet wurden. Ist die sphärische Aberration vollständig aufgehoben, so werden in beiden Fällen die Ränder der weissen Ziffern wie der Streifen und Kreise sehr scharf hervortreten, ohne dass man seitlich einen Lichtnebel im schwarzen Theile des Gesichtsfeldes bemerkt. Nähert oder entfernt man das Mikroskop, so breitet sich das Bild aus; aber wenn auch seine Ränder dabei mehr und mehr an Schärfe verlieren, so zeigt sich doch auch jetzt noch kein umgebender Lichtnebel. Besteht Unterverbesserung, so bemerkt man beim Abwärtsrücken des Objectes einen starken Lichtnebel, der sich nach innen und aussen ausbreitet, und durch diesen Nebel sieht man

*) Die durch Luftbläschen entstehenden Bilder lassen sich auf eine andere Weise noch dazu verwenden, die Grenzen des optischen Vermögens eines Mikroskopes zu bestimmen, worauf ich später zurückkommen werde.


Digitized by Google

noch eine Strecke weit die ursprüngliche Figur hindurchschimmern. Bei Annäherung zum Mikroskope zeigt sich dieser Lichtnebel nicht, aber das Gesichtsfeld bleibt schwarz. Ist die sphärische Aberration überverbessert, so wird man beim Annähern und beim Fernrücken gerade die entgegengesetzten Erscheinungen beobachten.

Es ist klar, dass noch manche andere Mittel zu gleichem Zwecke benutzt werden können. Bei allen weissen Gegenständen auf schwarzem Hintergrunde und bei allen Oeffnungen in einem sonst schwarzen Gesichtsfelde, wodurch weisses Licht fällt, zeigen sich gleiche Erscheinungen wie die oben genannten. Ich erwähne deshalb hier nur noch Ein Mittel, das mir besonders geeignet erschienen ist, weil es sich auch bei den stärksten Vergrösserungen noch anwenden lässt, wo die künstlich erzeugten Figuren oder die mit einer Nadel auf der geschwärzten Glasplatte gezogenen Striche eine zu grosse Breite besitzen, als dass die Wirkungen der sphärischen Aberration daran noch deutlich erkennbar werden. Die weissen Figuren oder Striche müssen dann sehr fein sein, und solche verschafft man sich leicht, wenn man ein Glasplättchen einige Augenblicke in die Flamme einer Kerze oder einer Lampe hält, bis sich eine nicht zu dicke Kohlenschicht darauf abgesetzt hat. Bringt man dieses Plättchen noch erwärmt unters Mikroskop, dann erblickt man zuerst eine gleichmässige schwarze Oberfläche; beim Abkühlen aber theilt sich dieselbe allmälig in eine grosse Menge kleiner unregelmässiger Polygone, die meistens von geraden Linien begrenzt werden. Dadurch entstehen helle Interstitien von verschiedener Breite, an denen man auf die angegebene Weise den Grad und die Art der Verbesserung der sphärischen Aberration prüfen kann.

Zur Prüfung der chromatischen Aberration haben Naegeli und Schwendener (*Das Mikroskop.* I, S. 151) ein ferneres ganz zweckmässiges Verfahren angegeben. Die Hälfte der vordersten Linse, oder bei Linsensystemen mit sehr kurzer Brennweite die Hälfte der hintersten Linse des Objectives bedeckt man mit einem Stückchen Papier oder Stanniol*), und dann sieht man durch das Mikroskop auf einen hellen Streifen in schwarzem Felde. Das Bild des Streifens entsteht nur durch die unbedeckte Hälfte des Objectives, die gleich einem gewölbten Prisma wirkt. Ist die chromatische Verbesserung vollständig, dann stellt sich das Bild ganz farblos dar; ist dagegen annoch chromatische Aberration vorhanden. dann decken einander eine Anzahl gefärbter Bilder, so dass, je nachdem Unterverbesserung oder Ueberverbesserung da ist, der eine Rand des Bildes blau, der andere aber roth gefärbt erscheint. Die Oertlichkeit dieser

*) Wer ein stereoskopisches Mikroskop mit Nachet's oder Wenham's Einrichtung hat, kann auch dieses dazu benutzen und dabei zugleich beobachten, in wie weit das Vorschieben des Prisma über die eine Linsenhälfte von chromatischer Aberration gefolgt ist.

Färbung ist dadurch bedingt, ob die rechte oder die linke Hälfte des Objectives zur Bildformung verwendet wird. Wäre die rechte Hälfte bedeckt und es bestände dabei Unterverbesserung der chromatischen Aberration, dann würde das mikroskopische Bild rechts einen violetten oder blauen Rand, links einen rothen Rand haben. Bestände dagegen Ueberverbesserung der chromatischen Aberration, dann würde der linke Rand blau erscheinen und der rechte roth.

Bei allen früheren Prüfungsmethoden wurde stillschweigend von der Voraussetzung ausgegangen, das ins Mikroskop eintretende Lichtbündel erfülle die gesammte Oeffnung des Objectives. Man kann aber auch ein ringförmiges oder scheibenförmiges Diaphragma in die Bahn der Strahlen bringen, und den Versuch so anstellen, dass entweder nur der centrale oder aber nur der peripherische Theil des Objectivsystems auf die beiderlei Aberrationen untersucht wird.

Prüft man verschiedene Mikroskope nach diesen Methoden, so wird man natürlich verschiedene Resultate erlangen. Die Art des Instrumentes übt aber darauf ebenfalls einigen Einfluss. Die aus einer und derselben Glassorte verfertigten Instrumente, desgleichen die aus Edelsteinen bestehenden Doublets und Triplets eines einfachen Mikroskopes werden sich stets als unterverbesserte ausweisen, in Betreff der sphärischen sowohl als der chromatischen Aberration. Anders verhält es sich mit aplanatischen Linsensystemen. Ich habe schon früher (§§. 158 und 159) erwähnt und die Gründe dafür angegeben, dass diese überverbessert sein müssen, wenn sie zu einem zusammengesetzten Mikroskope verwendet werden sollen. Auch wird man bei allen solchen Linsensystemen, die aus guten Werkstätten kommen, diese Ueberverbesserung an den obigen Charakteren erkennen können. Die neueren Optiker richten ihre stärkeren Objectivsysteme nach Amici's Vorgange so ein, dass die beiden obersten Doppellinsen stark überverbesserte sind, die unterste dagegen eine unterverbesserte. Bei einem Immersionssysteme braucht die letztere selbst nur aus einer einzigen Kronglaslinse zu bestehen.

Kommen jene Methoden bei zusammengesetzten Mikroskopen mit Ocularen in Anwendung, so wird man bald die Charaktere der Unterverbesserung, bald jene der Ueberverbesserung wahrnehmen, ja es kann selbst der Fall vorkommen, dass eine der beiden Aberrationen überverbessert ist, die andere aber noch unterverbessert sich darstellt. Die beiden Verbesserungen halten auch wohl nicht vollkommen gleichen Schritt, und nur innerhalb gewisser Grenzen ist eine Annäherung zu einem genauen mittleren Verhältniss möglich. Ziehen wir die Erfahrung zu Rathe, so ist eine schwache Unter- oder Ueberverbesserung der chromatischen Aberration weniger schädlich, als eine unvollkommene Verbesserung der sphärischen Aberration. Deshalb kommen die Charaktere der letzteren bei der Beurtheilung eines Mikroskopes besonders in Betracht. Ihre Unter-

Digitized by Google

verbesserung wie ihre Ueberverbesserung beeinträchtigen in gleichem Maasse das begrenzende Vermögen des Mikroskopes, weil das Bild dadurch stets getrübt und nebelartig wird. Ein schwach gefärbter Saum ist weniger schädlich, und da ein bläulicher Rand dem Auge angenehmer ist als ein röthlicher oder gelblicher, so wird man einer schwachen Ueberverbesserung dieser Aberrationsart in der Regel den Vorzug geben.

Ich erinnere aber an die verschiedenen Verfahrungsweisen (§. 160), wodurch man bei einem zusammengesetzten dioptrischen Mikroskope die Verbesserung der beiden Aberrationen bis zum höchsten Grade der Vollkommenheit zu steigern vermag. Es steht natürlich nicht zu erwarten, dass ein Mikroskop, auch wenn es aus der besten Werkstätte kommt, bei allen Combinationen in gleichem Maasse von Aberrationen frei sein wird, es müsste denn vom Verfertiger selbst mit Mitteln zu weiterer Correction ausgestattet sein. Wenn dies, wie doch gewöhnlich, nicht der Fall ist, so kann man zunächst durch genaue Prüfung ermitteln, welche Combinationen zumeist von Aberrationen frei sind, und andererseits kann man auch das Mikroskop durch kleine Modificationen, z. B. durch Verkürzung oder Verlängerung des Rohrs, für die übrigen Combinationen merklich verbessern.

Auch vergesse man nicht, wenn man diesen Theil der optischen Einrichtung eines Mikroskopes beurtheilen will, den früher (§. 160) besprochenen Einfluss der Deckplättchen mit in Rechnung zu bringen, da diese bei der Untersuchung nicht zu entbehren sind und der Beobachter deshalb im Stande sein muss, entsprechend ihrer verschiedenen Dicke die nöthigen Verbesserungen anzubringen.

229 Betrachtet man Objecte mittelst eines aplanatischen Mikroskopes, so nimmt man an den Rändern der Bilder eine Erscheinung wahr, die man sich wohl hüten muss für ein Zeichen unvollkommener Aberrationsverbesserung zu halten; denn dieselbe stellt sich gerade um so deutlicher dar, je vollkommener diese Verbesserung ist, gehört somit gerade zur Charakteristik der bestehenden Verbesserung *). Befindet sich nämlich das Object in der gehörigen Entfernung vom Mikroskope und seine Ränder sind scharf begrenzt, so gewahrt man um sie einen dünnen Lichtsaum, der durch eine schattenartige, manchmal farbige feine Linie begrenzt wird. Der Grund dieser Erscheinung liegt in der Beugung der Lichtstrahlen, die an den Rändern des Objectes vorbeigehen, und in der dabei stattfindenden Interferenz, die zwar stets vorhanden ist, aber nur dann zur Erscheinung kommt, wenn die Bilder in Folge der Verbesserung nicht mehr in einer gewissen Dicke über einander geschichtet, sondern zu einem Gesammtbilde vereinigt von der Netzhaut aufgefangen werden.

*) Diese Diffractionsringe sind neuerdings von H. Schröder (*Poggendorff's Annalen*, CXIII. S. 502) dazu benutzt worden, Fernröhre und Mikroskope auf die sphärische Aberration zu prüfen.

Jener feine Lichtsaum kann zwar in manchen Fällen, zumal wo es sich um genaue mikrometrische Bestimmungen handelt, stören, niemals aber in einem hohen Grade. Es muss aber darauf aufmerksam gemacht werden, weil diejenigen, denen diese Erscheinung unbekannt ist, der Gefahr ausgesetzt sind, diese zarte Linie für die Begrenzung eines dünnen Häutchens zu halten. Ganz lässt sich dieselbe nicht beseitigen, am wenigsten durch achromatische Beleuchtungsapparate, die man ausdrücklich dafür empfohlen hat.

Der zweite Punkt, der bei der Beurtheilung eines Mikroskopes in 230
Frage kommt, ist die Brennweite desselben und die Grösse des Oeffnungswinkels, unter welchem die vom Objecte ausgehenden Strahlen ins Mikroskop treten.

Ueber das Auffinden der Brennweite von Linsen und Linsensystemen brauche ich hier nicht in Einzelnheiten einzugehen; in den §§. 114, 115 und 124 sind die hierzu nöthigen Anweisungen enthalten.

Was den Oeffnungswinkel eines Linsensystemes betrifft, so ist aus Fig. 132 deutlich zu entnehmen, dass derselbe durch die Linien *op* und *pg*, welche vom Brennpunkte *p* nach den Rändern der vordern Linse *C* gezogen werden, nicht bestimmt wird, es müsste denn diese Linse gerade einen solchen Durchmesser haben, dass alle auf sie treffenden Strahlen, nachdem sie durch die beiden anderen Linsen gebrochen worden sind, sich in dem Strahlenbündel *rs* befinden, welches auf der obern Seite austritt und aus parallelen Strahlen besteht. Lässt man nämlich auf die obere Linse *A* eines solchen Linsensystemes ein Bündel paralleler Strahlen fallen, dann werden nur die Abschnitte *ab*, *cd* und *ef* an den beiden anderen Linsen von convergirenden Strahlen getroffen werden, die sich weiterhin im Brennpunkte *p* kreuzen. Der wahre Oeffnungswinkel ist daher nicht *opg*, sondern *epf*. Man kann gleichzeitig diesen Winkel und die Brennweite bestimmen, indem man ein Bündel Sonnenstrahlen auf die obere Linse fallen lässt, und dann den Durchmesser des erleuchteten Feldes *mn* und dessen Entfernung vom Brennpunkte *p* misst. Nennt man den Durchmesser des Objectives *o*, jenen des erleuchteten Feldes *l*, des letztern Entfernung vom Brennpunkte *d*, und den Oeffnungswinkel φ, so ist $2 \; Tang. \; {}^1/_2 \; \varphi = \frac{l + o}{d}$, da man wegen der Kleinheit des Sonnenbildchens im Brennpunkte dasselbe als einen einzigen Punkt ansehen kann.

Fig 132.

Wird ein solches Linsensystem mit einem Oculare zu einem zusammengesetzten Mikroskope verbunden, so tritt eine freilich nur geringe Aenderung im Werthe des Oeffnungswinkels ein, und derselbe ist sogar, wenn auch in sehr engen Grenzen, für verschiedene Augen, die durch das Mikroskop sehen, ein veränderlicher. Für ein Auge nämlich, welches zum Behufe des Scharfsehens auf einen unendlichen Abstand accommodirt wird, muss das Object in solcher Entfernung von der vordern Objectivlinse sich befinden, dass das Lichtbündel, welches aus dem Oculare ins Auge tritt, aus parallelen Strahlen besteht. In der Regel wird dies aber nicht der Fall sein, wenn das durchsehende Auge sich in Ruhe befindet und für eine geringere Entfernung accommodirt ist, in welcher dann die Projection des Scheinbildes stattfindet. Die aus dem Oculare heraustretenden Strahlen sind dann mehr oder weniger convergirende. Um aber einen allgemeinen Maassstab zu haben, darf man diese Strahlen als parallel annehmen, und dann kann man, wie es Robinson (*Proceedings of the Royal Irish Academy* 1854, VI, p. 38) gethan hat, den Oeffnungswinkel des ganzen Mikroskopes auch auf die gleiche Weise bestimmen, wie bei einem Objectivsysteme. Da nun die parallelen Strahlen, welche durchs Ocular eintreten, sich auf der andern Seite im Mikroskoprohre kreuzen, so bekommt die oberste Linse des Objectivsystems divergirende Lichtstrahlen. Folglich werden die Strahlen darin weniger convergiren als im erstern Falle, und ein grösserer Theil der untern Linse, etwa *it* in Fig. 132, wird nutzbar. Während aber so die Grösse der wirklich nutzbaren Oeffnung zunimmt, nimmt jene des Oeffnungswinkels selbst wiederum dadurch ab, dass *z*, der Vereinigungspunkt der Strahlen, weiter entfernt ist als der Hauptbrennpunkt des Objectivsystems.

Aus dieser Betrachtung ergiebt sich also: a) dass bei einem Linsensysteme, welches als Objectiv eines zusammengesetzten Mikroskopes gebraucht wird, die Grösse der nutzbaren Oeffnung zunimmt; b) dass man den Oeffnungswinkel des Objectives nicht, wie es vielfach geschieht, jenem des ganzen zusammengesetzten Mikroskopes gleich annehmen darf, weil alle Linsen des letztern zusammen ein System bilden, dessen Brennpunkt nicht mit jenem des Objectives allein zusammenfällt, und diese Differenz um so grösser ausfallen wird, je länger das Rohr ist und je mehr das Ocular für sich allein vergrössert; c) dass diese Differenz bis zu einem gewissen Punkte durch Nutzbarmachung eines grösseren Theils der Oeffnung der untersten Linse compensirt werden kann, so dass die Schenkel der beiden Lichtkegelwinkel *epf* und *izt* fast parallel sind und die beiden Winkel deshalb fast einander gleich sein können.

Bevor ich die praktische Brauchbarkeit dieser Methode näher prüfe, ist vorher noch einer andern zu gedenken, die schon vor vielen Jahren von Lister (*Phil. Trans.* 1830, p. 191) empfohlen wurde und seitdem sehr allgemein in Gebrauch gekommen ist. Ihr Princip wird

durch Fig. 133 erläutert, wo *A* das Ocular, *B* das Objectiv eines zusammengesetzten Mikroskopes darstellt. Ein Bündel paralleler Strahlen *rs*, die auf das Ocular treffen, werden sich in *a* vereinigen und von da divergiren; ein Theil derselben wird durch das Objectiv gehen, sich dann

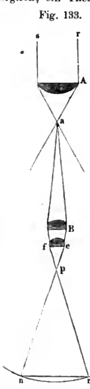


Fig. 133.

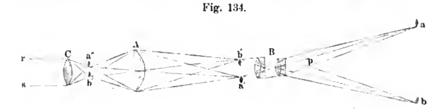
im Brennpunkte *p* kreuzen und weiterhin ein erhelltes Gesichtsfeld bilden, dessen Durchmesser in *mn* dargestellt ist. Lässt man Lichtstrahlen den umgekehrten Weg nehmen, so werden sie der nämlichen Richtung folgen. Bringt man nämlich einen leuchtenden Gegenstand, die Flamme einer Kerze oder Lampe, in beliebigen Abstand vom Objectivsysteme, so werden keine Strahlen ins Mikroskop treten, so lange sich derselbe ausserhalb des Lichtkegels *mpn* befindet, etwa zwischen *t* und *m*. Rückt man aber die Flamme in der Linie *tm* fort, so wird in dem Augenblicke, wo sie nach *m* kommt, durch das Objectiv ein Strahl nach *a* gelangen, so dass das Gesichtsfeld halb erleuchtet und halb verdunkelt sich darstellt. Schreitet dann die Flamme von *m* nach *n* fort, so erhellt sich das ganze Gesichtsfeld. Sowie sie jedoch in *n* ankommt, gelangt wiederum nur ein Randstrahl nach *a* und das Gesichtsfeld ist auf der einen Seite erleuchtet, jetzt aber auf der entgegengesetzten als vorher. Bewegte man also die Flamme längs eines in Grade getheilten Kreises, so würde der Oeffnungswinkel $epf = mpn$ durch den Bogen *mn* gemessen werden. Offenbar ist aber das nämliche Ziel auf einfachere Weise zu erreichen, wenn man nicht die Flamme, sondern das Mikroskop einen Kreisbogen beschreiben lässt, so dass der Brennpunkt *p* in der Axe liegt, um welche die Drehung geschieht, und zwar in gleicher Höhe mit der Flamme, wenn sich das Mikroskop in einer horizontalen Ebene bewegt. Ein Mikroskop also, welches horizontal gestellt und dann zugleich um eine senkrechte Axe gedreht werden kann, lässt sich zur Winkelmessung benutzen, wenn man es auf einen in Grade getheilten halben Kreisbogen stellt, dessen Mittelpunkt in der Drehungsaxe liegt. Als Zeiger kann eine Nadel oder ein anderer spitziger Körper dienen, den man mittelst eines Fadens am Mikroskopkörper dergestalt aufhängt, dass er sich über der Theilung befindet. Das Objectiv wird bis zu seiner Brennweite von der Drehungsaxe gebracht,

und wenn das Mikroskoprohr, wie gewöhnlich, zu kurz ist, so kann man sich hierzu verlängernder Hülfsröhren bedienen.

Eine besonders dazu bestimmte mechanische Einrichtung hat Goring (*Microscopical Illustrations* p. 292) angegeben, die wesentlich darin besteht, dass das Mikroskop, dessen Oeffnungswinkel gemessen werden soll, in horizontaler Richtung mittelst zweier Stützen auf einer messingenen Platte ruht, die sich selbst wieder auf einer andern Messingplatte mit Gradeintheilung herumdreht, und zwar mittelst einer Spindel, in deren Verlängerung eine feine Nadel befindlich ist, auf welche das Mikroskop scharf eingestellt wird.

Eine Abänderung dieses Verfahrens hat Weuham (*Quart. Journ. of microscop. Sc.* 1854, VI, p. 134, und VIII, p. 209) darin eintreten lassen, dass das horizontal gestellte Mikroskop nach einem entfernten Gegenstande, etwa nach der Flamme einer Lampe gerichtet wird, gleichwie bei Lister's Methode. Die Strahlen werden aber dann nicht sogleich durch das Auge aufgenommen, sondern vor das Ocular kommt noch eine Linse in solcher Entfernung, dass das Flammenbildchen durch diese Linse vergrössert gesehen wird. Wenn man dann das Mikroskoprohr wieder in einer horizontalen Ebene herumdreht, so wird der Oeffnungswinkel nach Wenham, durch den Bogen gemessen werden, welchen das Mikroskop bis zu den beiden Punkten durchläuft, wo das Bildchen der Flamme nur noch zur Hälfte sichtbar ist. Zur Erläuterung dient Fig. 134,

Fig. 134.



worin der Einfachheit halber, gleichwie in Fig. 133, das Ocular nur durch eine einzige Linse vertreten wird. Ist *A* das Ocular, *B* das Objectiv und *C* die hinzugefügte Linse, so werden von einer in *a* oder *b* befindlichen Flamme hinter dem Objective verkleinerte Bilder in *a'* oder *b'* entstehen. Von hier aus divergiren die Strahlen und vereinigen sich dann wieder auf der andern Seite des Oculares zu zwei Bildchen *a''* oder *b''*, welche durch die Linse *C* wie durch ein einfaches Mikroskop betrachtet werden, so dass die Strahlen durch diese Linse fast parallel heraustreten. Liegt nun der Brennpunkt des ganzen Systems mit Einschluss der vorgesetzten Linse *C* in *p*, so werden die Bildchen der Flammen nicht mehr sichtbar sein, sobald die Randstrahlen der von ihnen ausgehenden und das Objectiv treffenden Strahlenkegel durch *p* treten,

mit anderen Worten also, das Bild einer Flamme wird nicht mehr sichtbar sein, wenn das Mikroskop gedreht wird, bis sich die Flamme ausserhalb des Kegels *apb* befindet.

Man ersieht aber auch leicht, dass die Methode von Wenham nicht ganz gleiche Resultate liefern kann, wie jene von Lister. In den beiden Fällen hat man nämlich ein verschiedenes System von Linsen, und damit verbindet sich eine andere Lage des Hauptbrennpunktes und mithin auch eine Verschiedenheit des Oeffnungswinkels selbst. Nach Wenham's Methode wird man in der Regel einen etwas grösseren Oeffnungswinkel bekommen; doch habe ich bei genauer Vergleichung beider Verfahrungsarten gefunden, dass der Unterschied in der Wirklichkeit sehr gering ist, bei sehr grossen Oeffnungswinkeln kaum 1° beträgt, und somit, wie gleich erhellen wird, eigentlich noch innerhalb der Grenzen der Fehler liegt, die sich bei dieser Methode nur sehr schwer vollständig vermeiden lassen. Wenham's Verfahren hat aber den grossen Vorzug, dass sich dadurch mit grösserer Sicherheit die Grösse des wirklich nutzbaren Theils der Oeffnung vom Objectivsysteme bestimmen lässt. In den letzten Jahren hat man sich nämlich auf einmal zu ausschliesslich auf die Verfertigung von Linsensystemen mit einem sehr grossen Oeffnungswinkel verlegt, dabei aber die nicht minder wichtige Anforderung an ein gutes Mikroskop, die Correction beider Aberrationen, namentlich der sphärischen, etwas vernachlässigt. Es ist gewiss beachtenswerth, dass es der Kunst gelungen ist, Objectivsysteme mit Oeffnungswinkeln herzustellen, die man vor wenigen Jahren noch für unerreichbar hielt; indessen lehrt eine vorurtheilslose Untersuchung solcher Systeme mit Oeffnungswinkeln von 150°, 160°, 170°, ja selbst noch darüber hinaus, dass mit dieser Vergrösserung der Oeffnung eine Verstärkung im optischen Vermögen des Mikroskopes nicht immer gleichen Schritt hält. Man muss daher nicht blos den Oeffnungswinkel als Ganzes messen, sondern auch jenen Theil dieses Winkels, wodurch der wirklich nutzbare Theil der Oeffnung des Objectives repräsentirt wird, da der übrige Randtheil, von dem keine scharfen Bilder entstehen können, eher als schädlich denn als nutzbringend anzusehen ist. Dies wird aber durch Wenham's Methode ermöglicht. Wenn man nach derselben das vor dem Oculare entstandene Flammenbildchen durch eine Linse betrachtet, so wird dieses vollkommen scharf und in seiner wahren Gestalt sich darstellen, so lange es durch jenen Theil des Objectives hervorgebracht wird, worin die Aberrationen gehörig verbessert sind. Ein Objectiv wird also um so besser sein, einen je grössern Bogen das zur Messung gebrauchte Mikroskop beschreiben kann, ohne dass das Bildchen der Flamme etwas von seiner Schärfe verliert. Wird dasselbe aber beim weitern Drehen des Instruments immer undeutlicher, nebelartig und verbogen, so ist dies ein Beweis, dass die Randtheile der Linsen einen schädlichen Einfluss darauf ausüben und

dass es mithin besser sein würde, die Oeffnung so weit zu verkleinern, dass jene durch die Randtheile gehenden Strahlen ausgeschlossen bleiben. So finde ich z. B. bei einem Linsensysteme, welches einen Oeffnungswinkel von 148° hat und selbst bei 150° noch einen Lichtschein durchlässt, dass die eigentlich nutzbare Oeffnung nur 120° beträgt, da nur innerhalb der hierdurch umschlossenen Grenzen die Flamme scharf und rein erscheint.

Auf dem nämlichen Principe beruht auch die Methode von Gray (*Quart. Journ., July* 1859, p. 256). Statt blos einer Lampe oder Kerze nimmt er zwei und stellt sie in gehöriger Entfernung von dem horizontalliegenden Mikroskoprohre dergestalt hin, dass die sie verbindende Linie rechtwinkelig auf letzterem steht und durch die Mitte des Gesichtsfeldes geht. Ein Gehülfe schiebt nun die beiden Kerzen gegen einander oder entfernt sie von einander, bis der Beobachter die Flammenbildchen genau an den gegenüber stehenden Rändern des Gesichtsfeldes sieht. Bedeutet dann d den Abstand der beiden Flammen, a den Abstand des Objectives von der Verbindungslinie der beiden Flammen, so ist die Tangente des halben Oeffnungswinkels $= \frac{d}{2a}$.

Diese Methode ist recht brauchbar, wenn das Mikroskop sich nicht um eine verticale Axe drehen lässt und auch sonst keine Einrichtung dazu besitzt. Sie kann bei jedem Mikroskope in Anwendung kommen, wenn dessen Körper auch nicht horizontal gestellt werden kann: das Mikroskoprohr mit dem Objective und Oculare muss nur auf eine passende Unterlage kommen, so dass es mit den beiden Flammen in gleichem Niveau liegt.

Man begreift unschwer, dass bei allen diesen Methoden statt der Flamme auch jeder andere Gegenstand benutzt werden kann, wenn er nur hinlänglich Licht ausstrahlt, um ein helles Bildchen zu erzeugen, das noch am Rande des Gesichtsfeldes wahrnehmbar ist. Man kann z. B. einen Streifen weisses Papier auf einem dunkelen Grunde nehmen, wie Govi (*Quart. Journ., April* 1864, p. 83), dessen Methode wegen ihrer Einfachheit und praktischen Brauchbarkeit noch besondere Erwähnung verdient. Das Mikroskop wird in gewöhnlicher verticaler Stellung auf einen dunkelen oder mit dunkelem Ueberzuge bedeckten Tisch gestellt. Auf das Ocular kommt eine Lupe oder ein Doublet mit 2 bis 3 Centimeter Brennweite; diese werden durch ein kurzes Ansatzrohr damit in Verbindung gesetzt, um höher oder tiefer gestellt zu werden, damit die kleinen Bilder nicht zu weit entfernter Objecte wie durch ein Fernrohr dadurch beschaut werden können. Nun legt man zwei Streifchen weisses Papier nahe dem Mikroskope auf die Tafel und entfernt dieselben von einander, bis ihre Bildchen an die entgegengesetzten Ränder des Gesichtsfeldes kommen. Ist der Abstand der beiden Papierstreifchen $= d$, der

Abstand des Objectives von der Tafel $= a$, so ist auch hier wieder die Tangente des halben Oeffnungswinkels $= \frac{d}{2a}$.

Govi's Methode lässt sich mit jedem gewöhnlichen Mikroskope zur Ausführung bringen, nur muss das Objectiv weit genug vom Objecttische gerückt werden, dass dessen Ränder nicht in die Bahn der Strahlen kommen. Man darf aber nicht erwarten, bei Bestimmung des Oeffnungswinkels der Linsensysteme nach dieser Methode die nämlichen Resultate zu erhalten, wie bei den früher erwähnten Methoden. Der Oeffnungswinkel fällt vielmehr immer kleiner aus. Für zwei Objective, die nach Lister's Methode geprüft Oeffnungswinkel von 94° und 73° hatten, erhielt ich nur 71° und 50°. Dieser Verschiedenheit gedenkt auch Brookes in dem Berichte der Jury über die Mikroskope auf der Londoner internationalen Ausstellung von 1862; Govi's Methode wurde dabei in Anwendung gezogen. Den Grund hiervon kann man nur darin finden, dass beim Benutzen einer Flamme viel unregelmässig reflectirtes Licht ins Mikroskop eintritt, was beim weissen Papierstreifen nicht der Fall ist. Es eignet sich daher diese Methode noch besser als die Wenham'sche, um die wahre Grösse des eigentlich nutzbaren Theiles der Objectivöffnung mit der erforderlichen Schärfe ausfindig zu machen.

Noch einer Methode will ich hier im Vorbeigehen erwähnen, die aber auf einem falschen Principe beruht; das ist die von Gillett (*Philos. Magaz.* 1854, May, p. 368) empfohlene. Er nimmt zwei horizontalliegende und mit den Objectivsystemen einander zugewandte Mikroskope. An dem einen ersetzt er das Ocular durch einen Hohlkegel und davor stellt er die Flamme einer Lampe; das Licht tritt dann durch das Objectiv nach aussen, und nach erfolgter Kreuzung im Vereinigungspunkte der Strahlen breitet es sich zu einem Lichtkegel aus. Diesen Lichtkegel fängt er im anderen Mikroskope auf, welches um eine verticale Axe gedreht werden kann, wie bei der Methode von Lister. Der durchlaufende Bogen, worin das Gesichtsfeld erleuchtet ist, soll dann das Maass für den Oeffnungswinkel des Objectivsystemes abgeben, durch den das Licht eingefallen ist. Wenham hat hiergegen mit Recht angeführt, dass man auf solche Weise zu ganz unrichtigen Resultaten kommt und dass man dadurch eher ein Maass für die Oeffnungswinkel beider Objectivsysteme zusammen erhält. Später hat Gillett seine Methode zwar insofern verbessert, dass er abwechselnd die rechte oder die linke Hälfte vom Objective seines Messmikroskopes mittelst eines davor gehaltenen Deckelchens abschliesst, je nachdem rechts oder links von der Axe gedreht wird; viel sicherer würde es aber sein, wenn ein Deckelchen mit einem engen Spalte benutzt würde.

Man wird auch das Objectiv und das Ocular ganz weglassen können und blos ein Rohr zu nehmen brauchen, an dessen Ende eine Platte mit

einem verticalen Spalte sich befindet. Wird diese in einem Kreisbogen bewegt, so wird noch Licht durch den Spalt fallen, so lange sich dieser innerhalb des Lichtkegels befindet. Ein entsprechender Apparat würde sich ohne sonderliche Mühe herstellen lassen. Auch noch auf andere Weise lässt sich dieses Ziel erreichen. Auf einem Blatt Papier oder auf einer Messingplatte wird ein Halbkreis gezogen und in Grade eingetheilt, so dass die Enden des Bogens auf den Vorderrand fallen. Zwischen einige aus dünnen Metalldrähten bestehende und längs des getheilten Bogens vertical angebrachte Klammern kommt dann ein Streifen durchscheinendes Papier, so dass die Biegung des Papiers der Bogenkrümmung möglichst entspricht. Diesen kleinen Apparat bringt man auf eine Unterlage, die gerade so hoch ist, als die Axe des horizontalen Mikroskopes und zugleich eine solche Stellung hat, dass der Mittelpunkt im Kreuzungspunkte der Strahlen befindlich ist. Dann wird genau die Hälfte des Lichtkegels auf das Schirmchen von durchsichtigem Papier fallen und die Grösse des Winkels lässt sich wirklich ablesen.

Wo es sich um den Oeffnungswinkel eines Linsensystemes oder eines ganzen zusammengesetzten Mikroskopes handelt, da wird man kein divergirendes künstliches Licht, sondern Sonnenlicht einfallen lassen, und dann hat man an den beiden letztgenannten Methoden ein Hülfsmittel, um auf directem Wege das Resultat zu erlangen, wozu man nach Robinson's Methode nur durch eine kleine Rechnung kommt. In der Hauptsache laufen sie also auf das Nämliche hinaus. Der praktischen Anwendung bietet sich auch die gleiche Schwierigkeit dar durch die nicht scharfe Begrenzung des Lichtkreises, zumal bei Linsensystemen mit sehr grosser Oeffnung. Doch ist dies nicht sowohl ein Einwurf gegen die Methode, als vielmehr die nothwendige Folge der Unvollkommenheit des Linsensystemes selbst. Bei einem ganz vollkommenen Mikroskope würde der Lichtkegel fast gleich hell am Rande wie in der Mitte sein, und seine Grenzen würden sich somit leicht mit Genauigkeit bestimmen lassen. Diesem Grade von Vollkommenheit nähern sich unsere jetzigen Mikroskope nur dann, wenn Objective von ziemlich grosser Brennweite und mit einem kleinen Oeffnungswinkel genommen werden. Untersucht man stärkere Objective mit grösserem Oeffnungswinkel, so wird man in der Regel finden, dass die genaue Grenze mehr und mehr unbestimmt wird: die Mitte des Feldes ist am hellsten, und diese erhellte Mitte wird von einem weniger erleuchteten Rande umgeben, der sich weiterhin in das dunkele, gar nicht erleuchtete Feld verliert. Bei solchen Linsensystemen ist deshalb eine genaue Bestimmung der Grösse des Oeffnungswinkels nicht möglich. Die nämliche Schwierigkeit lastet aber in Wirklichkeit auf jeder anderen Methode, und es ist in der That lächerlich, wenn man, wie es geschehen ist, die Grösse des Oeffnungswinkels solcher Systeme bis auf Bruchtheile eines Grades angeben will. Auch

nach Lister's Methode kann man nur bei nicht starken Objectiven mit ziemlicher Genauigkeit den Punkt bestimmen, bis zu dem das Mikroskop bewegt werden muss, wenn das Feld halberleuchtet erscheinen soll. Bei Systemen mit sehr grossem Oeffnungswinkel gelingt das nicht. Man sieht dann, wie das Gesichtsfeld allmälig dunkeler wird, bis zuletzt gar kein Licht mehr ins Mikroskop tritt. Dieses allmälige Abnehmen der Erleuchtung spricht schon für unregelmässige Brechungen und Reflexionen, die an den Rändern der Linsen stattfinden, gleichwie das Verdrehte und Nebelhafte der Bilder, welches bei Wenham's Methode bemerkbar ist. Daher kommt es auch, dass Robinson, der seine Messungen in dem noch erleuchteten Theile des Gesichtsfeldes vornahm, bei Objectivsystemen aus den besten englischen Werkstätten den wirklich nutzbaren Oeffnungswinkel auffallend kleiner faud, als er sich nach Lister's Methode herausstellt, wie aus der nachfolgenden Zusammenstellung erhellt. Es war nämlich der Oeffnungswinkel bei

	Robinson	Lister
$\frac{1}{16}$ engl. Zoll Brennweite	110,8°	160°
$\frac{1}{12}$ " " "	109,3°	129°
$\frac{1}{12}$ " " "	114,6°	156°
$\frac{1}{12}$ " " "	122,8°	170°

Schliesslich ist also aus der vorhergehenden Untersuchung soviel zu entnehmen, dass es bei Bestimmung der Oeffnung von Linsensystemen nicht allein darauf ankommt, zu wissen, unter welchem Winkel noch Licht ins Mikroskop gelangen kann, sondern besonders auch darauf, dass man die Grösse der wirklich nutzbaren Oeffnung kennt. Dazu kann die Methode von Wenham und noch besser die von Govi benutzt werden. Die Robinson'sche Methode zeichnet sich dadurch aus, dass man mit Einem Blicke das ganze Lichtgebiet des Systemes übersieht. Einen andern Vortheil gewährt sie auch noch dadurch, dass Unvollkommenheiten in den Gläsern des Objectives, kleine Narben, Schrammen, Luftbläschen u. s. w. ihre Anwesenheit im Lichtfelde durch dunkele Stellen kundgeben.

Erwähnen will ich noch, dass bei solchen Objectiven, die mit einem Correctionsapparate für Deckplättchen von verschiedener Dicke versehen sind, der Oeffnungswinkel verschieden ausfällt je nach der gegenseitigen Entfernung der beiden vorderen Linsen. Bei der geringsten Entfernung,

die dann besteht, wenn das System für die dicksten Deckplättchen eingerichtet ist, hat man den grössten Oeffnungswinkel, und umgekehrt ist dieser am kleinsten, wenn beide Linsen beim Betrachten ganz unbedeckter Objecte am weitesten von einander abstehen.

231 Ein dritter zu beachtender Punkt betrifft die Politur der Oberflächen der Linsen und Spiegel, sowie die Homogenität ihrer Masse.

Erheblichere Mängel der Politur sind schon mit blossem Auge oder unter einer Lupe zu erkennen. In den Objectiven eines zusammengesetzten Mikroskopes tritt diese Unvollkommenheit am besten hervor, wenn man die einzelnen Doppellinsen als Oculare benutzt, besonders wenn das Gesichtsfeld durch ein sehr schwaches Lampenlicht beleuchtet wird. Nur selten wird es vorkommen, dass eine solche Linse die Probe vollkommen besteht, und nirgends eine Spur von Fleckchen oder Schrammen sich zeigt. Bei dieser Beurtheilung muss man aber einen Unterschied machen zwischen einer allgemein unvollkommenen Politur, die sich unter den genannten Umständen durch dicht bei einander liegende schattenartige Linien und Flecken verräth, wodurch das ganze Gesichtsfeld eingenommen und nebelartig gemacht wird, und zwischen den grösseren Unebenheiten, welche sich als dunkele Flecken und Streifen darin darstellen. Letztere schaden in einem Objective viel weniger, als wenn die gesammte Politur unvollkommen ist, selbst wenn keine tieferen narbenartigen Flecken und Schrammen vorkommen. Sind diese in geringer Anzahl vorhanden, so entgeht dem Bilde dadurch nur ein kleiner Theil der zusammensetzenden Strahlen; ja eine Objectivlinse kann sogar gebrochen sein, ohne dass die Beobachtung dadurch sehr behindert wird. Dagegen fallen solche tiefere Narben und Schrammen bei den Ocularen und ebenso auch bei den Linsen, die als einfaches Mikroskop gebraucht werden, sogleich ins Auge, weil sie sich wegen der Nähe des Auges vergrössert darstellen. Es versteht sich aber von selbst, dass man sich bei einer solchen Untersuchung hüten muss, zufällige Verunreinigungen der Gläser, wie kleine Stäubchen und Fäserchen, die auch als Schattenbildchen und Streifchen im Gesichtsfelde erscheinen, mit einer unvollkommenen Politur zu verwechseln.

232 Bekanntlich macht sich an dem zu optischen Zwecken bestimmten Glase, namentlich am Flintglase, eine unvollkommene Mengung leicht in der Form von Adern oder Streifen (*striae*) bemerkbar. Ist eine Linse mit solchen Unvollkommenheiten behaftet, dann passt sie nicht zu optischen Instrumenten, weil die verschiedenen Abschnitte des Glases ein ungleiches Brechungsvermögen besitzen, so dass durch solches Glas kein

reines Bild zu Stande kommen kann. Da indessen zu den Objectiven der Mikroskope nur kleine Stückchen Flintglas erforderlich sind, so lassen sich für die letzteren wohl eher homogene Flintglaslinsen herstellen, als für die grossen Objective von Teleskopen. Man hat daher bei Mikroskopen diese Unvollkommenheit nur wenig zu fürchten; man darf sich darauf verlassen, dass der Opticus nur reine, von Streifungen ganz freie Stückchen Glas zum Schleifen der Linsen verwendet haben wird. Mir ist wenigstens diese Unvollkommenheit in mikroskopischen Objectivlinsen noch nicht vorgekommen. Einmal sah ich sie in ziemlich starkem Maasse in einer Flintglaslinse, die mit einer Kronglaslinse zusammen das Ocular eines ältern Mikroskopes bildete. Man sah die Streifungen schon gleich mit blossem Auge, noch deutlicher aber traten sie hervor bei Beleuchtung mit einem schwachen Lampenlichte. Ich zweifele daher nicht, dass eine solche Unvollkommenheit in einer kleinen Objectivlinse sich auf diese Weise und zugleich auch durch eine Unreinheit des Bildes werde zu erkennen geben.

Häufiger, als diese Streifen, beobachtet man kleine Luftblasen. 233
Grössere noch leicht mit blossem Auge wahrnehmbare braucht man freilich nicht zu fürchten; sicherlich werden zum Schleifen von Linsen nur solche Glasstücke genommen werden, worin dergleichen nicht vorkommen. Hingegen ist es gar nichts Seltenes, dass man in Linsen, sogar aus den ersten Werkstätten, kleine Luftbläschen antrifft, die sich nur durch eine genaue Untersuchung zu erkennen geben. Verwendet man solche Linsen bei schwacher Beleuchtung als Oculare, dann stellt sich jedes Luftbläschen als ein dunkeler runder Fleck dar. Am deutlichsten treten sie aber hervor, wenn man die Linse bei mässiger Vergrösserung und bei durchfallendem Lichte betrachtet; jedes Luftbläschen erkennt man dann leicht an dem breiten scharf begrenzten schwarzen Rande und dem hellen mittleren Theile. Das Vorkommen von Luftbläschen gehört natürlich immer zu den Unvollkommenheiten der Linsen; indessen schaden ein paar ganz kleine, die nur durchs Mikroskop wahrnehmbar sind, nicht besonders, wenn sie in den Objectivlinsen sich befinden. Der Nettigkeit und Schärfe des Bildes geschieht dadurch nicht der geringste Abbruch; die Strahlen erfahren aber eine starke seitliche Abweichung durch diese Bläschen, ganz so, als wären es dunkele Linsentheile, und somit verkleinert sich durch sie der nutzbare Theil der Linsenöffnung. In Ocularlinsen, zumal im eigentlichen Oculare, und beim Ramsden'schen Oculare in beiden Gläsern ist die Anwesenheit von Luftblasen weit hinderlicher, als in den Objectivlinsen, da sie wegen der Nähe des Auges hier sogleich als dunkele Fleckchen im Gesichtsfelde wahrgenommen werden.

Die bisher genannten Mängel können schon an Linsen vorkommen, 234
die eben die Werkstätte verlassen haben; es giebt aber auch noch andere,

die erst im Verlaufe der Zeit entstehen und mit jenen nicht zusammengeworfen werden dürfen. Die Reinheit der Linsenoberfläche kann nämlich auf mehr denn Eine Art leiden, durch mechanische und durch chemische Ursachen. Die beste Politur kann mit der Zeit durch Ritze verdorben werden, die durch unvorsichtige Behandlung entstanden, besonders wenn scharfe Substanzen zum Reinigen genommen wurden; oder es können Flüssigkeiten oder Dämpfe nachtheilig auf die Oberfläche einwirken, wenn sie damit in Berührung kommen nnd, wie z. B. Hydrothionsäure, auf einzelne Bestandtheile des Glases, namentlich bei Flintglas, einen chemischen Einfluss üben.

Wenn aber auch keiner der gewöhnlichen schädlichen Einflüsse die Linsen trifft, dieselben vielmehr immer mit der grössten Sorgfalt behandelt werden, so können nichtsdestoweniger noch Mängel daran auftreten, bei deren Betrachtung wir einige Augenblicke verweilen müssen.

Wenn Mikroskope eine geraume Zeit hindurch nicht gebraucht worden sind, so wird man die Oberfläche der Gläser immer mehr oder weniger matt finden. Oftmals rührt dies blos von lose anhängenden Molekeln her, die sich mittelst eines Pinsels oder eines feinen Leinwandläppchens leicht wegwischen lassen. Auch kommt nicht selten ein eigener Schimmel, *Hygrococis fenestralis* Kütz., an der Oberfläche von Linsen, wie von Glas im Allgemeinen vor, der sich meistens ohne Mühe abwischen lässt. Manchmal hängt aber der Staub oder der Schimmel so fest mit dem Glase zusammen, dass einfaches Abwischen nicht ausreichend ist. Man kann dann mit Wasser benetzen, und wenn dieses nicht hilft, mit Alkohol, der aber nicht in das mit Canadabalsam erfüllte Interstitium der Linsen eindringen darf. Gelingt es auch nach wiederholten Versuchen, die aufliegende Schicht zu entfernen, so findet man doch nicht selten, dass die Linsenoberfläche noch etwas matt bleibt, weil sie verwittert ist. Man erkennt dies nicht allein an der unvollkommenen Durchsichtigkeit, sondern bei auffallendem Lichte erscheinen auch Interferenzfarben dünner Schichten besonders deutlich, wenn man die Linse durchs Mikroskop betrachtet, wobei man zugleich wahrnimmt, dass ihre Oberfläche etwas rauh und schieferartig ist.

Hat sich dieser Linsenfehler in etwas stärkerem Grade entwickelt, so wird die Linse dadurch ganz unbrauchbar und nur durch frisches Schleifen und Poliren wiederum benutzbar. Ohne mich über die Art dieses Fehlers in genauere Erörterungen einzulassen, will ich auf die Preisschriften von Muncke und Frauenhofer (*Natuurk. Verhandl. van de Holl. Maatsch. der Wetensch. te Haarlem* 1820, X, p. 93 u. 137) verweisen, wo sich viele interessante betreffende Thatsachen zusammengestellt finden. Ich bemerke hier blos, dass man als Hauptursache dieses Unscheinbarwerdens die Neigung mancher Glassorten anzusehen hat, Wasserdünste auf ihrer Oberfläche zu verdichten, wodurch ein viel stär-

keres Anhaften der zufällig darauf vorhandenen Molekeln entsteht, die nach einiger Zeit so innig wird, dass es nicht möglich ist, dieselben wiederum zu entfernen, ohne zu gleicher Zeit die äusserste Schicht der Glasoberfläche mit wegzunehmen.

Diese Attractionskraft des Glases für den in der Luft enthaltenen Wasserdunst ist manchmal sehr stark entwickelt. So gehört z. B. zum Beleuchtungsapparate des Mikroskopes eines meiner Freunde eine Linse, die in so hohem Grade mit diesem Fehler behaftet ist, dass ihre Oberfläche fast anhaltend befeuchtet sich darstellt. Diese Eigenschaft ist aber vorzugsweise, wenn nicht allein, von der chemischen Zusammensetzung der Glasmasse bedingt. Im Besonderen wird sie durch einen zu grossen Kaligehalt befördert, während sie sich durch einen Zusatz von Kalk oder von einem Metalloxyde vermindert. Daher kommt es auch, dass Flintglas weniger an diesem Fehler leidet, den man häufiger bei anderen Glassorten antrifft*).

Hat sich dieser Fehler einmal gebildet, so ist er schwer zu beseitigen. Es giebt aber Mittel zur Abhaltung, und dazu gehört vor Allem ein sorgfältiges Reinhalten der Linsenoberflächen. Viele hegen die Meinung, es sei den Linsen schädlich, sie immer von Staub zu reinigen; sie fürchten durch das Reinigen der Politur Eintrag zu thun, und benutzen höchstens einen Pinsel zum Abstreifen der Oberflächen. Diese Besorgniss ist aber unbegründet. Ein wiederholtes, ja tägliches Abwischen der Linsen mit einem weichen halbverbrauchten Leintuche schadet denselben nicht im mindesten, während die darauf liegen bleibenden Staubtheilchen auf die Dauer sehr nachtheilig einwirken.

Die erste Regel also, um jenes Anlaufen der Linsen zu verhüten, ist die, dass man sie gehörig rein hält. Dies gilt nicht blos für ein Mikroskop, welches viel gebraucht wird, sondern auch für ein solches, womit nur selten Beobachtungen angestellt werden. Man glaube nur nicht, dass ein noch so gut schliessendes Kästchen die Linsen vor der Feuchtigkeit der Luft oder vor dem in der Luft schwebenden Staube schützt. Vom Gegentheile kann man sich an Mikroskopen überzeugen, die einige Jahre lang nicht in Gebrauch gezogen wurden. Ungeachtet des besten Schlusses werden die Linsen mit einer Staubschicht bedeckt sein, die sich oftmals zwar mit Leichtigkeit entfernen lässt, unter der aber auch wohl eine ganz unscheinbar gewordene Oberfläche zum Vorschein kommt.

*) Dem scheint es einigermaassen zu widersprechen, dass bei den Objectiven der Teleskope dieses Unscheinbarwerden in der Regel zuerst an der Oberfläche der Flintglaslinse beobachtet wird. Vielleicht kommt dies daher, dass bei Teleskopen die Flintglaslinse nach innen befindlich ist und deshalb selten abgewischt wird. Bei Mikroskopen, wo die Flintglaslinse des Objectives nach auswärts gekehrt ist, habe ich diese noch niemals unscheinbar angetroffen, wohl aber die Oberfläche der Kronglaslinse, die vermöge ihrer Lage schwerer zu reinigen ist.

Digitized by Google

Muncke wie Frauenhofer haben Mittel angegeben, wodurch der Hinneigung des Glases zu dieser Unvollkommenheit begegnet werden soll. Muncke empfiehlt, die Oberfläche des Glases mit einer dünnen Oelschicht zu bedecken. Am besten nimmt man dazu ein mit etwas Terpentinöl befeuchtetes Tuch, und nachher wischt man die Linse mit einer trocknen Partie des Tuches so ab, dass keine Spur vom Oele mehr übrig bleibt. Es wird dann immer noch eine ganz dünne Schicht zurückbleiben, die nicht ganz verfliegt, sondern durch Einwirkung der Luft schnell harzartig wird, und aus den Beobachtungen Waideler's (Poggendorff's *Annal.* 1843, LIX, S. 255) über das Vermögen der Oberflächen, Dämpfe zu condensiren, erklärt es sich, wie eine mit einer ganz dünnen Oel- oder Harzschicht bedeckte Oberfläche der Anziehung des Wasserdunstes verlustig wird.

Das von Frauenhofer vorgeschlagene Mittel soll die chemische Zusammensetzung der obersten Glasschicht verändern, derselben nämlich einen Theil des im Uebermaass vorhandenen Kali entziehen. Zu dem Ende soll man die Linsen ein Paar Stunden in Schwefelsäure legen. Nach seinen Angaben ist es aber gerathen, keine zu starke Schwefelsäure dazu zu nehmen, sondern eine mit dem gleichen Gewichte Wasser verdünnte, da sehr concentrirte Schwefelsäure, wie die Nordhäuser, die Oberfläche augenblicklich angreift, den Glanz vermindert und ein ähnliches Angelaufensein zu Stande bringt, wodurch dünne Schichten ebenfalls gefärbt erscheinen. Zugleich hat man darin ein Mittel, die Geneigtheit einer Glassorte zum Verwittern zu entdecken; denn nach Frauenhofer wird Glas in gleichem Verhältniss durch starke Schwefelsäure angegriffen, als es zur Entwickelung jenes Fehlers disponirt ist.

235 Ein anderer Fehler, der wegen der Gleichheit der Wirkung leicht mit dem eben betrachteten zu verwechseln ist, und manchmal bei achromatischen Doppellinsen beobachtet wird, besteht darin, dass in der Schicht von Canadabalsam zwischen beiden Linsen kleine Krystalle sich absetzen.

Bringt man eine solche Linse unters Mikroskop, so erkennt man diesen Fehler leicht an dem Sitze sowohl, als an den genannten kleinen Krystallen. Das Aussehen der letzteren ist aber nicht immer das gleiche, vielmehr verschieden je nach der Dicke der Schicht, in welcher sie sich gebildet haben. Nach meiner Erfahrung kommen drei Hauptformen vor, die man nicht selten vereinigt antrifft, weil die gewölbte Oberfläche der Kronglaslinse nicht immer genau an die concave Oberfläche der Flintglaslinse anschliesst, die Dicke der Balsamschicht also am Rande eine andere ist als in der Mitte. Die erste Form begreift ziemlich regelmässige sechseckige Täfelchen oder kurze mit den Endflächen der Glasoberfläche zugekehrte Prismen, die einzeln oder zu Gruppen vereinigt da liegen. Diese am stärksten entwickelte Form kommt da vor, wo die Balsamschicht

am dicksten ist. Die zweite mehr verbreitete Form enthält dendritische Figuren, bald mehr gefiedert, wie die bekannte Salmiakkrystallisation, bald mehr sternförmig, mit einem grösseren sechseckigen Kernkrystalle in der Mitte, von wo aus die Astbildung sich weiter ausgebreitet zu haben scheint. Als dritte Form endlich nimmt man da, wo die Balsamschicht sehr dünn ist, runde oder elliptische Ringe wahr, die aus ganz kleinen Krystallkörnchen bestehen, während in der Mitte in der Regel ein etwas grösserer Krystall oder auch mehrere grössere Krystalle sich befinden. Diese drei Hauptformen kommen aber anch noch in verschiedenen Uebergängen vor, wodurch es deutlich wird, dass ihrem Entstehen nnr äussere Umstände zn Grunde liegen, nnd dass die Substanz, die sich aus dem Canadabalsam absetzt, immer die nämliche ist.

Ueber die Natur dieser Snbstanz lässt sich nichts Sicheres angeben. Aus einer chemischen Einwirkung des Canadabalsams auf einen der Glasbestandtheile und einer Verbindung damit kann sie nicht entstehen; denn wenn man beide Linsen von einander trennt und die mit dem Balsam bedeckten Oberflächen mit Alkohol oder Aether behandelt, so lösen sich alle Krystalle zugleich mit dem übrig gebliebenen Balsam auf, und die Glasoberfläche erscheint glatt nnd nnangegriffen. Man mnss also wohl annehmen, dass diese Krystallchen aus einem oder auch aus mehreren Bestandtheilen des Canadabalsams selbst entstehen, vielleicht aus einer der darin enthaltenen Harzsäuren *).

Die wesentliche Ursache dieses Linsenfehlers liegt also im Canadischen Balsame, dessen Einschiebung aber zu viele Vortheile darbietet, als dass man ihn deshalb weglassen sollte, zumal das Auftreten dieser Krystalle keineswegs eine Nothwendigkeit ist. Bei vielen achromatischen Doppellinsen habe ich nach 10 bis 12 Jahren noch keine Spur dieser Krystalle entdecken können, während sie sich bei manchen anderen, die erst später angefertigt worden waren, in grosser Menge zeigten. Dies rührt wahrscheinlich von der Art des benutzten Canadabalsams her, der bekanntlich in mehreren Sorten in den Handel kommt, die selbst verschiedenen Ursprungs sind. Wünschenswerth wäre es, dass eine chemische Untersuchung über diesen für die praktische Optik so wichtigen Punkt etwas mehr Licht verbreitete.

Zur Verbesserung dieses Fehlers bietet die bereits erwähnte Löslich-

*) Für diese letztere Annahme spricht eine Mittheilung meines Collegen van Rees, der zu Folge die Seeofficiere, wenn dieser Fehler in den Objectiven ihrer Teleskope sich zeigt, etwas Pulver aufstreuen nnd abbrennen, wodurch die Trübung in der Regel verschwinden soll. Wenn ich nun anch dieses heroische Mittel bei Mikroskopobjectiven nicht anrathen mag, so lässt sich doch wohl seine Wirkung auf die Wärmeentwickelung ans dem abgebrannten Pulver reduciren, wodurch die kleinen Krystalle geschmolzen werden, so dass sie sich wieder mit der übrigen Masse vermischen oder wenigstens in eine durchsichtige Schicht umgewandelt werden.

keit in Alkohol und Aether ein bequemes Mittel. Hat man die Linsen auseinander genommen, so kann man diese Krystallchen und damit auch die entstandene Trübung dadurch entfernen, und bringt man dann eine neue Schicht Canadabalsam zwischen die Linsen, so ist die Doppellinse wiederum gleich brauchbar wie früherhin. Es ist aber rathsam, dass man diese eine gewisse Sorgfalt erfordernde Arbeit einem geschickten Arbeiter überträgt, und zwar am besten einem solchen, der Mikroskope zu verfertigen pflegt.

236 Bei der Beurtheilung eines Mikroskopes kommt ferner dessen Lichtstärke in Betracht. Es ist aber hier jene Lichtstärke oder Helligkeit gemeint, welche nicht vom Beleuchtungsapparate abhängig ist. Freilich fällt es nicht schwer, durch lichtconcentrirende Linsen oder Hohlspiegel das Gesichtsfeld so stark zu erhellen, dass dieses dem Auge in zwei Mikroskopen gleich erhellt sich darstellt; aber gleichwohl kann das eine alsdann eine viel grössere Lichtstärke besitzen als das andere, da, wie bereits früher dargethan wurde, eine solche stärkere Beleuchtung der Objecte die fehlende wirkliche Helligkeit nicht zu ersetzen vermag. Auf diese Helligkeit oder Lichtstärke üben aber folgende Momente Einfluss:

1) Die Oeffnung der Linsen oder Spiegel. Beim einfachen Mikroskope kommt dabei das Verhältniss zwischen dieser Oeffnung und der Pupillenöffnung in Betracht (§. 122); beim zusammengesetzten Mikroskope und beim Bildmikroskope nimmt diese Helligkeit im quadratischen Verhältniss des Durchmessers der Objective oder deren äquivalenter Linsen oder Spiegel zu.

2) Die Brennweite, weil bei gleicher Oeffnung aber kürzerer Brennweite auch der Oeffnungswinkel grösser ist, also ein grösserer Antheil der vom Objecte ausgehenden Lichtstrahlen in das Mikroskop tritt und zur Zusammensetzung des Bildes beiträgt. Da aber im Allgemeinen die Oeffnung der Linsen und Hohlspiegel mit deren Brennweite abnimmt, ohne dass eine entsprechende Zunahme des Oeffnungswinkels damit parallel geht, so folgt hieraus, dass mit der Verkürzung der Brennweite oder, was ja daraus folgt, mit der Zunahme der Vergrösserung in der Regel auch eine Abnahme der Lichtstärke sich vergesellschaftet. Vergleicht man verschiedene Mikroskope in dieser Beziehung unter einander, so muss dies wohl im Auge behalten werden.

3) Die zur Erzeugung der Bilder benutzten Mittel, die entweder katoptrische oder dioptrische sein können. In dem Kapitel über katoptrische und katadioptrische Mikroskope ist darüber ausführlich gehandelt und dargethan worden, dass dieselben, wenn sonst auch alle Umstände gleich sind, in der Lichtstärke den dioptrischen Mikroskopen nachstehen.

Digitized by Google

4) Die Menge der reflectirenden Oberflächen bei Linsen oder bei Spiegeln. Je geringer die Zahl dieser Reflexionsflächen ist, um so grösser ist bei sonst gleichen Umständen die Menge der Strahlen, welche ins Auge gelangen.

5) Endlich der Politurgrad der Linsen und Spiegel, und die Homogenität der Substanz, woraus erstere bestehen, worüber das Nöthige im §. 231 mitgetheilt worden ist.

Wird auf diese verschiedenen Punkte Rücksicht genommen und wird jeder einzeln nach den gegebenen Vorschriften an einem Mikroskope untersucht, so hat man in der That alle Daten beisammen, um die Lichtstärke zu beurtheilen. Eine directe Bestimmung durch photometrische Mittel ist schwierig, weil diese Mittel noch sehr unvollkommen und hier wenigstens nicht recht anwendbar sind. Will man indessen verschiedene Instrumente mit einander vergleichen, dann kann man so verfahren, wie es Tulley für Teleskope und nach diesem Goring (*Micrographia* p. 114) für Mikroskope empfohlen hat. Es werden nämlich die zu vergleichenden Mikroskope Abends dem nämlichen Punkte des Himmels zugekehrt. Zu dem Ende muss der Beleuchtungsapparat weggenommen und das Rohr selbst in die erforderliche Stellung gebracht werden, oder wenn man die verticale Stellung beibehält, so muss durch flache Spiegel das Licht aufgefangen und reflectirt werden. Jenes Mikroskop nun, worin das Bild eines im Gesichtsfelde befindlichen Objectes bei zunehmender Dunkelheit am frühesten verschwindet, besitzt natürlich die geringste Lichtstärke.

Ueber die Einrichtung des Beleuchtungsapparates im Allgemeinen braucht hier nicht in Einzelnheiten eingegangen zu werden, weil die nöthigen Anweisungen zur Beurtheilung seiner Zweckmässigkeit schon in dem speciell darüber handelnden Kapitel verzeichnet sind. Ich bemerke demnach hier blos, dass sie eine hinlängliche Verstärkung in der Beleuchtung des Gesichtsfeldes bei durchfallendem Lichte gestatten muss, um selbst bei einem dunkel bewölkten Himmel eine 400- bis 500malige Vergrösserung noch bequem beobachten zu können. Nach Mohl's Vorschlag kann man dabei jenen Grad von Helligkeit, den gewöhnliches weisses Papier beim Tageslichte gewährt, als Maassstab benutzen. Für auffallendes Licht muss man die Grenzen nicht so weit ausdehnen; auch kommt man selten in den Fall, dieses bei einer Vergrösserung anzuwenden, welche über 200 bis 300 Male hinausgeht.

Einen Punkt darf ich aber hier nicht mit Stillschweigen übergehen, nämlich die Färbung des Gesichtsfeldes bei durchfallendem Lichte. Wird weisses Licht, wie es gewöhnlich durch eine weisse Wolke reflectirt wird, zur Beleuchtung benutzt, dann kann das Gesichtsfeld natürlich nur in weisser Färbung sich darstellen, sobald alle Strahlen in gleichem Maasse durchgelassen oder reflectirt werden. Das ist aber keineswegs immer vollkommen der Fall. Bei manchen Mikroskopen nimmt man selbst eine

sehr merkliche Farbennüance wahr, die sich dann auch den dadurch wahrgenommenen Bildern der Objecte mittheilt. Bereits früher (§. 174) wurde erwähnt, dass das Gesichtsfeld im katadioptrischen Mikroskope eine bräunliche Färbung zeigt, während es bei dioptrischen Mikroskopen nicht selten gelblich, grünlich oder bläulich erscheint. Diese Färbung ist oftmals so schwach, dass sie der Beobachtung entgeht, bis man nach einander durch zwei Mikroskope sieht, die eine entgegengesetzte Färbung hervorbringen. Der Grund derselben in den zusammengesetzten dioptrischen Mikroskopen ist nicht schwer nachzuweisen. Das Kronglas hat in der Regel etwas Bläuliches oder Grünliches, das Flintglas oftmals etwas Gelbliches; je nachdem nun eine von diesen Farben überwiegt, wird das Gesichtsfeld eine entsprechende Nüance annehmen.

Wenn auch die Schärfe der Bilder nicht darunter leidet, so ist doch diese Färbung immer als ein Fehler anzusehen, weil man dabei der Gefahr ausgesetzt ist, über die wahre natürliche Färbung der Objecte sich zu irren. Zumal die gelbe Färbung ist sehr hinderlich, wie ich aus Erfahrung weiss, da eins von den Mikroskopen, die ich gewöhnlich benutze, mit diesem Färbungsfehler behaftet ist. Das Grünliche oder Bläuliche ist dem Auge nicht so unangenehm. Jeder Beobachter wird aber wohl daran thun, sein Mikroskop in dieser Beziehung genau zu prüfen, um Irrthümern vorzubeugen, die besonders dann eintreten könnten, wenn chemische Reagentien unterm Mikroskope angewendet werden, z. B. Salpetersäure, um die Anwesenheit von Protein aus der gelben Farbe der Xanthoproteinsäure zu erschliessen, oder Jod und Schwefelsäure, um aus der blauen Färbung die Anwesenheit von Cellulose zu erkennen.

237 Ein Punkt von höchster Wichtigkeit beim Anfertigen aller optischen Instrumente ist die genaue Centrirung, welche darin besteht, dass bei einer einfachen Linse die optische Axe genau durch die Mitte beider Oberflächen geht, bei zusammengesetzten Instrumenten aber die Axen aller Linsen und Spiegel, welche dazu gehören, in der nämlichen geraden Linie liegen. Diese genaue Centrirung ist aber auch eine recht schwere Aufgabe, namentlich wegen der Kleinheit der Linsen, die beim Mikroskope in Anwendung kommen. Noch schwieriger wird die Aufgabe, wenn die Linsen zu Doppellinsen und diese wieder zu Systemen vereinigt werden. Denn wenn auch alle die verschiedenen Doppellinsen mit der grösstmöglichen Genauigkeit hergestellt und ihre Abstände vollkommen so eingerichtet sind, dass vollständige Aufhebung der Aberrationen eintritt, so wird doch offenbar das durch ein solches Linsensystem entstehende Bild niemals ein scharf begrenztes sein können, sobald die Centrirung unvollkommen ist. Eine geringe Abweichung muss hier nothwendiger Weise schon sehr nachtheilige Folgen haben. Nicht ganz so schädlich ist es, wenn in einem zusammengesetzten Mikroskope die Axe des Oculares

mit jener des Objectives nicht vollständig zusammenfällt, weil das durch letzteres erzeugte Bild gewöhnlich einen grösseren Raum einnimmt, als für das Gesichtsfeld des Oculares erforderlich ist; letzteres kann dann nach einander über verschiedene Punkte des Bildes gebracht werden, die man bei gleichzeitiger Veränderung des Abstandes zwischen Objectiv und Object mit ziemlich gleicher Schärfe wahrnehmen wird. Davon vermag sich jeder zu überzeugen, der ein Ocular etwas seitlich der Axe über dem Mikroskoprohre hält. Sind dagegen die Gläser des Oculares nicht gehörig unter einander centrirt, dann muss auch in dem zur mittleren Sehweite projicirten Scheinbilde die nämliche Verwirrung entstehen, wie in dem ursprünglichen Bilde durch ein nicht gehörig centrirtes Objectivsystem.

Die Hauptsache ist demnach, dass zuerst jede einzelne Linse und Doppellinse genau centrirt ist, dass aber dann auch die zusammensetzenden Linsen der verschiedenen Systeme, beim zusammengesetzten Mikroskope also jene der Objective sowohl als der Oculare, gehörig unter einander centrirt sind.

Ist das Centriren an sich schwierig, so fällt es nicht minder schwer, sich durch den Versuch von dessen Genauigkeit zu überzeugen. Bei grösseren Linsen, die nicht gefasst sind, hat man zu untersuchen, ob der Rand der Linse überall gleich dick ist. Bei Linsen von kleinem Durchmesser und bei solchen, die schon in Ringe oder Röhrchen gefasst sind, muss man andere Mittel anwenden. In den optischen Werkstätten ist nach Prechtl (*Praktische Dioptrik* §. 69) folgendes Verfahren gebräuchlich, das zwar hauptsächlich für das Centriren der Teleskopengläser bestimmt ist, aber grösstentheils auch auf Mikroskope Anwendung finden kann. Die Linse wird dergestalt auf einer Drehbank befestigt, dass sie so viel möglich centrisch steht, und dann stellt man in einiger Entfernung davon eine Kerze auf. Die Flamme der Kerze wird durch beide Oberflächen der Linse reflectirt, so dass man zwei Bilder gewahrt. Es lässt sich aber ohne grosse Mühe erreichen, dass beide genau auf einander fallen, oder dass das kleinere sich in der Mitte des grösseren befindet, indem man die Flamme hin und her bewegt, bis man den Punkt ausfindig macht, wo dieses eintritt. Ist nun die Entfernung der Flamme ziemlich gross, dann werden die Bilder zu leuchtenden Punkten, und misst man von da aus, wo sich der leuchtende Punkt an der vorderen Oberfläche zeigt, die Entfernung bis zum Umfange (was daher auch ohne die Befestigung auf die Drehbank geschehen kann), so muss diese Entfernung überall durchaus die nämliche sein. Noch genauer fällt übrigens der Versuch aus, wenn man die Linse auf der Drehbank sich herumdrehen lässt: die Centrirung ist dann genau, wenn beide einander deckende Bildchen unverändert dieselbe Stelle einnehmen.

Will man die Centrirung der Oculare und Objectivsysteme eines

zusammengesetzten Mikroskopes untersuchen, so kann man auf folgende Weise verfahren. Irgend ein kleines Object, z. B. ein Schüppchen von einem Schmetterlingsflügel, bringt man in der gehörigen Entfernung unter das Mikroskop und zwar so, dass das eine Ende desselben den Rand des Gesichtsfeldes oder den Kreuzungspunkt zweier im Oculare ausgespannten Fäden berührt, hierauf aber dreht man nach einander die verschiedenen Linsen um ihre Axe mittelst der Schrauben, die zu ihrer Befestigung dienen. Ist die Centrirung genau, so wird jenes Bild, das wegen des veränderten relativen Abstandes der Linsen etwas an Schärfe verliert, doch immer die nämliche Stelle im Gesichtsfelde einnehmen; bei ungenauer Centrirung dagegen erleidet dasselbe während der Linsenumdrehung eine Ortsveränderung im Gesichtsfelde, so dass der ursprünglich mit dem Rande in Berührung stehende Theil sich bald innerhalb, bald ausserhalb desselben befindet.

Unterwirft man Mikroskope dieser Probe, so wird man wohl niemals eins antreffen, welches dieselbe ganz vollkommen bestände. Namentlich gilt dies von den das Objectiv zusammensetzenden Linsen. Man darf nämlich nicht vergessen, dass jede Abnormität einer genauen Centrirung beim Umdrehen sich genau so viel Mal vergrössert, als das Object selbst, welches durchs Mikroskop beobachtet wird. Eine Differenz von $^{1}/_{100}{}^{mm}$ wird daher bei einer 500maligen Vergrösserung im Bilde sich als eine Differenz von 5^{mm} darstellen. Hieraus ergiebt sich aber, dass selbst bei der sorgsamsten Bearbeitung stets Mängel in der Centrirung verbleiben müssen, die sich auf die genannte Weise kund geben. Das Einzige, was man billiger Weise erwarten kann, besteht darin, dass diese Mängel auf ein möglichst geringes Maass herabgebracht sind.

Hieraus ergiebt sich zugleich Folgendes. Wenn zwei Linsensysteme gleich sorgfältig centrirt sind, so dass die Abstände der optischen Axen der verschiedenen Linsen in beiden Systemen ganz gleich sind, dann wird der Einfluss dieses Abstandes oder mit anderen Worten der Mangel der Centrirung am stärksten in jenem Systeme hervortreten, welches die kürzeste Brennweite und mithin die stärkste vergrössernde Kraft hat. Ohne Zweifel liegt darin eine der vorzüglichsten Ursachen, warum stark vergrössernde Systeme den weniger vergrössernden in Betreff des begrenzenden Vermögens stets nachstehen.

Ich muss noch bemerken, dass durch die den Objectivsystemen jetzt vielfältig gegebene Einrichtung, die verschiedenen Doppellinsen fest untereinander zu vereinigen, die ja auch manche nicht zu verkennende Vortheile bietet (§. 157), die Prüfung auf genannte Weise in der Regel unmöglich gemacht wird. Bemerkt man aber an einem solchen Systeme bei der Beobachtung von Objecten Spuren eines unvollkommenen begrenzenden und durchdringenden Vermögens, und hat man sich zugleich durch vorgängige Prüfung davon überzeugt, dass dies keiner der übrigen

im §. 227 aufgezählten Ursachen beigemessen werden kann, so kommt man dann auf negativem Wege zu dem Schlusse, dass wahrscheinlich die Centrirung eines solchen Systemes nicht genau genug ist, es müsste denn der Fehler bereits in den Doppellinsen selbst liegen, oder es müsste auf deren Vereinigung nicht die gehörige Sorgfalt verwendet worden sein, was in einem solchen Falle schwer mit Bestimmtheit ausgemacht werden kann und was auch nur dem Optikus selbst zu wissen von Nutzen ist, dem während der Zusammensetzung Mittel genug zu Gebote stehen, um sich von der Genauigkeit der Centrirung zu überzeugen.

Ein fernerer Punkt, worauf bei der Untersuchung eines Mikroskopes 238
geachtet werden muss, ist die Ausdehnung seines Gesichtsfeldes.
Bereits früher (§. 223) wurde angegeben, wie sich der scheinbare sowohl als der wahre Durchmesser des Gesichtsfeldes bestimmen lässt, und noch weiter oben (§. 120) wurde der Ursachen gedacht, von denen die Grösse des Gesichtsfeldes beim einfachen Mikroskope abhängt. Beim zusammengesetzten Mikroskope wird dessen Ausdehnung allein durch das Ocular bestimmt, sobald wenigstens, wie es doch fast immer der Fall ist, die Länge des Rohres, d. h. die Entfernung zwischen Objectiv und Ocular, gross genug ist, dass jenes durchs Objectiv entstehende Bild einen grösseren Raum einnimmt, als man durchs Ocular zu übersehen im Stande ist.

Weiterhin kommt der Grad der Krümmung und Wölbung des 239
Gesichtsfeldes in Betracht. Dass diese beiden Verhältnisse hinsichtlich der Ursache wie der Erscheinung von einander unterschieden werden müssen, wenngleich sie im Resultate theilweise zusammentreffen, ist weiter oben (§. 109. S. 97) angegeben worden. Von einem ganz geraden Gesichtsfelde kann nur bei einem zusammengesetzten dioptrischen Mikroskope (§. 151), so wie bei einem katadioptrischen die Rede sein, wenn beide mit einem Huygens'schen Oculare versehen sind. Das beste Hülfsmittel, ein Mikroskop in dieser Beziehung zu untersuchen, ist ein in viereckige Felder getheiltes Glasmikrometer, welches als Object dient. Ist das Gesichtsfeld ganz gerade, dann wird das Mikrometer so wie in Fig. 51 (S. 98) sich darstellen; ist dagegen, wie es in der Regel geschieht, der Einfluss des Collectivglases zu gering, dann wird man an den viereckigen Feldern etwas auswärts gebogene Grenzlinien wahrnehmen wie in Fig. 52. Der Fall, dass das Objectivglas einen überwiegenden Einfluss ausübte, wobei eine entgegengesetzte Krümmung gleichwie in Fig. 53 sich zeigen müsste, kommt wohl selten vor, da so etwas nur eintreten könnte, wenn die Brennweite des Collectivglases im Verhältniss zu jener des eigentlichen Oculares sehr kurz, oder der Abstand der beiden Gläser sehr gross wäre.

Hat man kein in vierseitige Felder getheiltes Mikrometer, so kann man auch noch auf andere Weise erforschen, in welchem Grade die Krümmung der Bilder beseitigt ist. Ist der Fehler vorhanden, so wird jede Linie, die vollkommen gerade erscheint, wenn sie durch die Mitte des Gesichtsfeldes verläuft, sich mehr und mehr gebogen darstellen, je näher dem Rande des Gesichtsfeldes sie gebracht wird, wie aus Fig. 52 zu entnehmen ist. Aus derselben ersieht man auch, dass die Vergrösserung in der Mitte des Gesichtsfeldes eine andere ist als an dessen Rande. Misst man daher ein Object mittelst Doppelsehen, und man erhält am Rande des Gesichtsfeldes einen grösseren Durchmesser des Bildes, als in dessen Mitte, so darf man hieraus ebenfalls auf eine Krümmung des Gesichtsfeldes schliessen.

Eine bedeutendere Krümmung des Gesichtsfeldes ist immer als ein Fehler zu betrachten, weil dann nur ein kleiner Theil des Objectes auf Einmal mit Schärfe wahrgenommen werden kann, und weil auch das Bild immer etwas Verdrehtes, von der wahren Gestalt des Objectes Abweichendes zeigt. Gleichwohl wird man finden, dass selbst die besten Mikroskope mehr oder weniger mit diesem Fehler behaftet sind. Würde nämlich das Ocular auch dergestalt eingerichtet, dass vermöge der Brennweiten sowohl als des wechselseitigen Abstandes beider Gläser ein ganz gerades Gesichtsfeld entstände, so würden diese Verhältnisse doch nur höchst selten gleichzeitig auch die geeignetsten zum Aplanatismus des Mikroskopes sein; und da es nun jedenfalls empfehlenswerther ist, wenn die Bilder wenigstens in einem Theile, namentlich in der Mitte des Feldes die grösstmögliche Schärfe besitzen, als wenn sie an allen Punkten desselben gleich gut, aber freilich mit einem geringeren Schärfegrade wahrgenommen werden können, so pflegen die Optiker bei der Herstellung von Mikroskopen auf das gerade Gesichtsfeld meistens zu verzichten, um eine grössere Verbesserung der Aberrationen in der Mitte des Feldes zu erlangen. Man muss hierauf Bedacht nehmen, da aus diesem Grunde bei mühsamen Untersuchungen die Objecte immer vorzugsweise in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht werden müssen. Deshalb ist es aber auch wichtig, dass der Beobachter durch vorgängige Untersuchung seines Mikroskopes sich davon überzeugt habe, wie weit jene Strecke des Gesichtsfeldes reicht, worin die Bilder noch keinen merkbaren Verlust an Schärfe und Deutlichkeit erfahren und wo auch noch keine Verzerrungen der wahren Form der Objecte vorkommen. Aus dem Mitgetheilten ergiebt es sich von selbst, dass diese Strecke um so ausgedehnter sein wird, je mehr der Krümmung des Gesichtsfeldes abgeholfen worden ist.

Ist es auch möglich, die eigentliche Krümmung vollständig zu beseitigen, so scheint dagegen die Wölbung der Bildfläche stets zu verbleiben, wenigstens bei der gegenwärtigen Einrichtung des Mikroskopes. Ihr Einfluss auf die Gestaltung der Bilder lässt sich aber zugleich mit der Krüm-

mung beseitigen, wenn dem Collective ein geringes Uebergewicht bei der Bildung des definitiven Bildes zu Theil wird. Wenn auch die Linien des Glasmikrometers oder des quadratischen Maschennetzes bis an den Rand hin gerade erscheinen, und somit die Vergrösserung in allen Punkten des Gesichtsfeldes eine ganz gleiche ist, so wird man, um die in der platten Ebene des Objecttisches befindlichen Gegenstände am Rande des Gesichtsfeldes scharf sehen zu können, das Mikroskop immer etwas tiefer stellen müssen, als für die in der Mitte befindlichen Gegenstände. Diese Wölbung der Bildfläche kann aber bei ihrer Geringfügigkeit nur sehr wenig schaden, und es steht sehr dahin, ob ihre Beseitigung, etwa durchs Einschieben einer concaven Linse in der Bahn der Strahlen, etwas hilft, ohne dass die Schärfe der Bilder, worauf es bei mikroskopischen Untersuchungen doch am meisten ankommt, dadurch leidet.

Ist die Prüfung eines Mikroskopes nach den bisher gegebenen Vor- 240
schriften ausgeführt worden, so wird man allerdings mit ziemlicher Sicherheit über dessen Tüchtigkeit und über die daran haftenden Mängel ein Urtheil fällen können. Gleichwohl ist die directe Untersuchung seines optischen Vermögens immer noch unerlässlich. Nach den früheren Auseinandersetzungen begreift dieses optische Vermögen drei Hauptmomente, nämlich das vergrössernde, das begrenzende und das unterscheidende Vermögen. Was die Vergrösserung anbelangt, so sind die nöthigen Vorschriften, um dieselbe zu bestimmen, schon in einem besonderen Kapitel gegeben worden, und es ist hier nichts hinzuzufügen.

Auch über das begrenzende und unterscheidende Vermögen ist bereits gehandelt worden (§. 224), und es wurden dort im Allgemeinen die Mittel angegeben, wie man ein Mikroskop darauf zu prüfen hat; doch ist es nöthig, hier wenigstens noch in einige Einzelnheiten darüber einzutreten. Wenn auch sehr viele Objecte sich dazu eignen, das unterscheidende und begrenzende Vermögen eines Mikroskopes zu prüfen, so ist doch die Anzahl derer gering, die mehr allgemein dazu gebraucht werden und diese Bevorzugung auch grossentheils verdienen. Diese Objecte hat man mit dem Namen Probeobjecte belegt, und es ist jedem mikroskopischen Beobachter anzuempfehlen, sich wenigstens mit einigen bekannt zu machen und die Art und Weise, wie sie sich durch ein gutes Mikroskop darstellen, dem Gedächtnisse einzuprägen, weil solche Kenntniss ihm einen ziemlich sichern und leicht anwendbaren Maassstab an die Hand giebt, um die Tüchtigkeit eines Mikroskopes zu beurtheilen.

Die Mehrzahl der benutzten Probeobjecte ist fein gestreift oder getüpfelt, und die Prüfung des Instrumentes läuft darauf hinaus, ob die Striche oder Tüpfelchen deutlich unterschieden werden. Dabei darf aber nicht ausser Acht gelassen werden, welchen Antheil das auf die Objecte fallende Licht an jener Unterscheidbarmachung nimmt. Sind doch

die Striche und Tüpfelchen manchmal gar nicht wahrzunehmen, wenn centrische parallele Strahlen das Gesichtsfeld erleuchten, und bei divergirenden oder schief von einer Seite einfallenden Strahlen treten dieselhen ganz deutlich hervor. Zwei Mikroskope, die bei gleicher Vergrösserung das nämliche Probeobject gleich deutlich zur Anschanung hringen, brauchen darum noch nicht die gleiche optische Vollkommenheit zu besitzen; sie müssen auch bei der nämlichen Belenchtungsweise das Nämliche leisten.

Auf die Sichtbarkeit der feinen Zeichnung ist es aber auch von entschiedenem Einflusse, ob ein Object trocken und luftumgeben betrachtet wird, oder ob es in einer Flüssigkeit liegt. Im letzteren Falle wächst die Durchsichtigkeit des Ohjectes mit dem grösseren Brechungsindex der Flüssigkeit. Wenn aber auch dem zu Folge an einem etwa in Canadabalsam aufbewahrten Objecte Einzelnheiten zur Wahrnehmnng gelangen mögen, welche beim Beobachten in freier Luft verschwinden, so wird man andererseits bei den meisten Probeobjecten, die an nnd für sich hinreichend durchscheinend sind, Striche und Tüpfelchen dentlich wahrnehmen, wenn sie in freier Luft nnters Mikroskop kommen, während die Behandlung mit Canadabalsam jene Zeichnungen zum Verschwinden bringt, und zwar deshalh, weil das Brechungsvermögen des Objectes und des umgebenden Mediums zu wenig differiren, die Strahlen somit nicht hinreichend von ihrer Bahn abgelenkt werden, um das Object unterscheidhar zu machen.

Da ferner zu einem Mikroskope eine gewisse Anzahl von Objectiven und Ocularen gehört, und nicht zu erwarten steht, dass man auch bei geringeren Vergrösserungen alles sehen werde, was sich bei stärkeren darstellt, so muss man behufs der Prüfung eines Mikroskopes über eine Reihe Probeobjecte verfügen, entsprechend der Reihe immer mehr abnehmender Brennweiten der Objectivsysteme.

Man darf auch nicht vergessen, dass in der Anfertigung der Mikroskope, namentlich aber der Objective, ein beständiger Fortschritt stattfindet, weshalb Probeobjecte, die während eines bestimmten Zeitabschnittes zu den schweren zählten, späterhin nicht mehr als solche gelten können. Bei der Prüfung stärkerer Systeme zumal wird man sich daher nach neuen noch schwierigeren Probeobjecten umzusehen haben.

Vorzugsweise sind organische Suhstanzen als Probeobjecte im Gebrauche, und zwar die kleinen Schüppchen auf den Integumenten vieler Insecten, insbesondere anf den Schmetterlingsflügeln, ausserdem aber auch die Kieselpanzer mehrerer Diatomeenarten.

Bereits bei Leeuwenhoek (*Zevende vervolg der Brieven. Delft* 1702, p. 448) findet sich die Bemerknng, dass auf den Flügelschüppchen vom Schmetterlinge der Seidenraupe eine Anzahl parallel laufender Streifen wahrzunehmen ist, die nur hei starker Vergrösserung sichtbar werden. Später hat man sich davon überzeugt, dass dergleichen Streifen auf den

Schuppen fast aller Insecten vorkommen, aber in Betreff der Sichtbarkeit bei den verschiedenen Thieren differiren, so dass sich damit eine Reihenfolge von Probeobjecten herstellen lässt, wo die Schwierigkeit des Erkennens immer mehr zunimmt. Jacquin in Deutschland, besonders aber Goring in England haben auf ihre Brauchbarkeit für diesen Zweck hingewiesen und einige Insecten genannt, deren Schüppchen vor anderen dazu sich eignen; andere Autoren haben dann späterhin noch einige hinzugefügt.

Bevor ich zu deren Aufzählung übergehe, erachte ich es nöthig, über die allgemeine Beschaffenheit dieser Theile etwas zu sagen, weil daraus erklärlich wird, wie sie unter besondern Umständen sich darstellen, und weil sie zu mancherlei irrigen Ansichten Veranlassung gegeben haben, indem einfach optische Täuschungen als wirkliche Wahrnehmungen beschrieben wurden.

Die Insectenschuppen bestehen immer aus zwei Schichten. Die obere oder äussere Schicht enthält eine Anzahl Streifen, die parallel verlaufen, oder aber divergirend, wenn der obere Rand des Schüppchens breiter ist als seine Basis; diese Streifen stellen sich bei hinlänglicher Vergrösserung als etwas erhabene Rippchen dar, welche durch zwei parallele Linien begrenzt werden. Man nennt sie Längsstreifen, weil sie von der Basis nach dem oberen Rande des Schüppchens verlaufen. Auf den Schmetterlingsschuppen bemerkt man daneben noch Querstreifen, die immer weit schwerer zu erkennen sind als die Längsstreifen und rechtwinkelig zu diesen stehen. Die Existenz dieser Querstreifen wird von Brewster (*Treatise on the Microscope* p. 179) geleugnet; nach ihm sollen an den Längsstreifen kleine Zähne vorkommen, gleichwie an den Fasern der Krystalllinse. Wirklich haben auch diese Streifen bei einer gewissen Stellung des Mikroskopes etwas Gezahntes. Da nämlich die Längsstreifen etwas erhaben sind im Verhältniss zu den unmittelbar damit zusammenhängenden etwas ausgeschweiften Querstreifen, so geschieht es, dass bei einer gewissen Stellung des Mikroskopes die Vereinigungsstelle beider Streifenarten deutlich sichtbar ist, die tieferen Partien der Streifen aber nicht wahrgenommen werden und erst dann zum Vorschein kommen, wenn das Object dem Mikroskope etwas näher gerückt wird. Um sich von der Richtigkeit dieser Angabe zu überzeugen und um im Allgemeinen die Natur dieser Schüppchen zu untersuchen, darf man nicht solche nehmen, an denen die beiden Klassen von Streifen schwer zu erkennen sind und die man deshalb vorzugsweise als Probeobjecte benutzt, sondern solche, wo die Streifen die gehörige Dicke haben und die Interstitien gross sind. Dazu eignen sich ganz gut die Schüppchen des blauen Theiles der Oberflügel von *Papilio Ulysses.* Die Längsstreifen sind hier 1,2 Mmm dick und stehen 3,9 Mmm von einander; die Querstreifen aber haben 0,9 Mmm Dicke und 3,4 Mmm Abstand. Ein solches Schüppchen stellt sich schon bei einer

mässigen Vergrösserung als ein Netzwerk fast viereckiger Maschen dar, deren Reihen aber nicht überall einander genau entsprechen, sondern oftmals auch alterniren. Dies beweist zugleich, dass die Querstreifen nicht in einer besondern Schicht unter einer darüber befindlichen Längsstreifenschicht liegen, und dass der Grund, warum beiderlei Streifen nicht gleichzeitig mit gleicher Schärfe gesehen werden können, nur darin zu suchen ist, dass, wie schon erwähnt, die Querstreifen ausgeschweift oder nach der Basis gekrümmt sind.

An den genannten Schuppen nimmt man ferner wahr, dass bei jener Einstellung des Mikroskopes, wobei die oberen Ränder der Längsstreifen ganz scharf hervortreten, dieselben auch durch gerade parallele Linien begrenzt werden. Wird dann das Mikroskop etwas tiefer gestellt, so dass die Maschen anfangen sichtbar zu werden, so bemerkt man an den durch sie geformten Winkeln eine Abrundung, so dass an der Vereinigung der Querstreifen und Längsstreifen eine schwache Verdickung entsteht. Hieraus erklärt sich noch eine andere Erscheinung, die zu Täuschung Veranlassung gegeben hat. Von den Schüppchen von *Pieris brassicae*, die zu den schwierigeren Probeobjecten gehören, giebt Chevalier (*Die Mikroskope u. s. w.* S. 104) eine Beschreibung, der zu Folge keine Querstreifen daran sichtbar sind und die Längsstreifen aus Reihen von Kügelchen bestehen, die sich in kleinen Entfernungen von einander befinden; er bildet sie auch entsprechend dieser Beschreibung ab und bemerkt sogar, dass die körnige Bildung dieser Streifen der wahre Prüfstein für ein Mikroskop sei, da er sie blos durch seine besten Mikroskope als solche wahrnehme. Nach Goring (*Microscopic Cabinet* p. 160) und nach Mohl (*Mikrographie* S. 180) dagegen haben diese Schüppchen die nämlichen längs- und querlaufenden, durch parallele Linien begreuzten Streifchen, wie andere Schuppen, und Mohl spricht sich selbst dahin aus, dass in Chevalier's Beschreibung ein schlechtes Zeugniss für seine Mikroskope niedergelegt ist. Das ist nun aber nicht ohne Weiteres der Fall; denn es hängt ganz von der Art und Weise der Beleuchtung ab, ob längslaufende und quere Streifen mit parallelen Grenzlinien sich zeigen, oder ob nur die ersteren erscheinen und dann aus Kügelchen zu bestehen scheinen. Mittelst eines vorzüglichen Mikroskopes und bei 400- bis 500maliger Vergrösserung gewahrt man sie wirklich auf die letztere Weise bei centrischer Beleuchtung mit divergirenden Lichtstrahlen, die unter einem ziemlich spitzen Winkel auf das Object fallen. Werden dagegen zur Beleuchtung schief auffallende oder convergirende Strahlen benutzt, dann kommen beiderlei Arten von Streifen, durch parallele Linien begrenzt, zum Vorschein und die scheinbaren Kügelchen verschwinden. Die Erklärung fällt nach dem Frühern keineswegs schwer. Die Streifen auf den Schuppen von *Pieris brassicae*, namentlich die queren, gehören wirklich zu den schwer wahrnehmbaren Objecten und man sieht sie nur, wenn das Licht

auf bestimmte Weise einfällt; bei anderem Lichteinfalle sieht man nichts davon, abgerechnet die oben genannten etwas dickeren Stellen, wo die Längs- und Querstreifen zusammenstossen. Diese dickeren Partien wirken dann wie Reihen kleiner Linsen und erscheinen, gleich als wären es Linsen, mit dunkeln Umrissen. In der Wirklichkeit sind sie nicht rund, sondern eckig; indessen bei solcher Kleinheit ist es nicht mehr möglich, die Form deutlich zu erkennen, und alle kleinen Körperchen erscheinen mehr oder weniger rundlich. Uebrigens erblickt man dergleichen Kügelchen auch an den Längsstreifen der meisten anderen Schmetterlingsschüppchen, wenn die Beleuchtungsart dabei günstig ist und der obere Rand dieser Streifen sich nicht gerade im Brennpunkte befindet. An den Schüppchen von *Lepisma saccharinum*, *Petrobius maritimus*, *Podura plumbea* u. s. w., wo keine Querstreifen zwischen den längslaufenden verkommen, bemerkt man niemals eine solche Zusammensetzung aus Kügelchen.

Unter der bisher beschriebenen obern Schicht der Insectenschüppchen befindet sich noch eine zweite, die nur unter besondern Umständen sichtbar wird. Am besten gewahrt man diese an den Schüppchen von Insecten, die längere Zeit sehr trocken aufbewahrt wurden. Dadurch werden sie sehr brüchig und es trennen sich zugleich die beiden Schichten, so dass man bei der Untersuchung auf einzelne Schüppchen zu stossen pflegt, an denen ein grösserer oder kleinerer Theil der unteren Schicht blos liegt. Es unterscheidet sich diese Schicht durch grössere Durchsichtigkeit von der obern und oftmals ist sie augenscheinlich blos häutig und structurlos; nicht selten aber erblickt man darin auch deutliche parallele Streifen, die oftmals ebenso verlaufen, wie die viel deutlicheren längslaufenden Streifen der obern Schicht, in anderen Fällen aber auch mit diesen einen mehr oder weniger spitzen Winkel bilden.

Die Zusammensetzung der Schüppchen aus zwei gestreiften Schichten erklärt wieder einige optische Erscheinungen, die an denselben auftreten. Da die beiden Schichten sich nicht gleichzeitig in die erforderliche Entfernung vom Mikroskope bringen lassen, um mit Bestimmtheit gesehen zu werden, so schimmern die Streifchen der untern Schicht durch jene der obern hindurch, wenn das Mikroskop eine Stellung hat, wobei das Bild der oberen Streifen scharf und deutlich hervortritt. Das undeutliche Bild der untern Schicht wird also auf das deutliche Bild der obern projicirt und so erwächst ein eigenthümlich verwirrter Gesichtseindruck. Das einfachste Beispiel der Art liefern die Schüppchen von *Lepisma saccharinum*. Die Streifen beider Schichten schneiden einander unter spitzem Winkel, und dies hat zur Folge, dass überall, wo sich unmittelbar unter einem dickeren Streifen der überliegenden Schicht ein dünnerer der unterliegenden befindet, schief stehende schattenartige

Stellen an der ersteren zum Vorschein kommen, wodurch der Streifen ein Aussehn bekommt, als wäre er strickartig gedreht.

Aus der Projection der Bilder beider Schichten auf einander erklärt es sich denn auch, weshalb die Streifen in manchen Fällen schattenartig wogend oder im Zickzack verlaufend sich darstellen, wobei sie dann niemals scharf begrenzt, aber in der Regel merklich breiter als die wahren Streifen erscheinen. Es sind ganz die nämlichen Streifen, die man auch in Moiré oder in gewässerten Stoffen sieht, und denen auch ganz die nämliche Ursache zu Grunde liegt. Am deutlichsten sicht man sie, wenn zwei Drahtnetze übereinandergehalten werden; hier kann man wahrnehmen, dass Breite, Richtung und wogender Verlauf der Streifen sich nicht nur mit der Entfernung beider Netze von einander ändern, sondern auch mit der Richtung des Auges und mit dessen Entfernung von den Netzen. Liegen zwei oder mehr recht durchscheinende Schüppchen auf einander, dann kann man die nämliche Erscheinung wahrnehmen; aber auch an einzeln daliegenden Schüppchen kommt sie bisweilen vor, und zwar am deutlichsten an jenen von *Podura plumbea.* An den kleinsten von diesen Schüppchen sieht man sogar nichts anders, als solche im Zickzack verlaufende Streifen; hier ist also die Wirkung noch sichtbar, obwohl man von deren Ursachen nichts mehr wahrnimmt. An den grösseren Schuppen unterscheidet man ebenfalls zwei Schichten, und man erkennt, dass beide aus parallelen und gerade verlaufenden ungemein dünnen Streifen mit sehr schmalen Interstitien bestehen; ein Unterschied von den Schuppen der meisten anderen Insecten besteht aber darin, dass diese Streifen in beiden Schichten die nämliche Dicke haben und einander spitzwinkelig schneiden.

Vielleicht sind die schiefen in der Diagonalrichtung verlaufenden feinen Streifen, die unter besonderen Umständen auf den Schüppchen einiger Lepidoptern, wie *Pieris brassicae, Tinea vestianella* u. s. w. erscheinen, auf eine ähnliche Weise zu erklären. Wenigstens hat dies für mich mehr Wahrscheinlichkeit, als die Meinung von Mohl (a. o. O. S. 188), der sie als das Resultat wellenförmiger Falten betrachtet, welche die Längsstreifen an einzelnen Stellen in schiefer Projection sehen liessen. Verhielt sich die Sache also, dann müsste man sie durch alle wirklich guten Mikroskope wahrnehmen können, was doch nicht der Fall ist. Goring (*Micrographia*, p. 133) hat bereits angegeben, dass diese Art von Streifen durch ein aplanatisches dioptrisches Mikroskop nur sehr undeutlich wahrgenommen werden, während er dieselben mit einem katadioptrischen Instrumente immer ganz deutlich erkannte. Ein stärkeres optisches Vermögen des letzteren wird aber hierdurch nicht dargethan, wie daraus zu entnehmen ist, dass ich diese schiefen Streifchen am besten durch stark vergrössernde Glaskügelchen sehe und viel weniger deutlich durch ein aplanatisches Mikroskop, mittelst dessen die wirklich vorhan-

denen Längs- und Querstreifen entschieden schärfer hervortreten. Dadurch wird die Vermuthung gerechtfertigt, dass die Art des Instrumentes hierbei einen ähnlichen Einfluss übt, als die Richtung und der Abstand des beobachtenden Auges beim Betrachten von Zickzacklinien, die durch zwei über oder vor einander gehaltene Drahtnetze entstehen, und dass also diese Streifen dadurch zu Stande kommen, dass die Bilder der unteren und oberen Schicht auf einander projicirt werden.

Möglicher Weise aber könnten diese Streifchen auch wirklich existiren und der tieferen Schicht der Schüppchen angehören. An den eigenthümlich geformten, oben gespaltenen Schuppen, die an der Oberfläche der Flügel von *Papilio polycaon* vorkommen, sind die Längsstreifen der oberen Schicht sehr deutlich; durch dieselben schimmern, ähnlich wie bei *Lepisma*, die stärkeren divergirend verlaufenden Längsstreifen der tieferen Schicht, und bei einer passenden Stellung des Mikroskopes und einer scharfen 400maligen Vergrösserung sieht man zwischen den Längsstreifen querlaufende Streifchen, die einander unter spitzem Winkel schneiden oder kreuzen. Folglich ist es nicht unwahrscheinlich, dass hier zweierlei Arten von Querstreifchen vorhanden sind, deren eine der oberen, die andere der unteren Schicht angehört, und dass also auch in anderen Fällen, wo solche schief verlaufende Streifchen wahrgenommen werden, diese wirklich der unteren Schicht angehören und deren Querstreifen darstellen.

Aus dem bisher Gesagten ergiebt sich, dass man bei Benutzung dieser Schuppen zu Probeobjecten stets vor einigen optischen Erscheinungen auf der Hut sein muss, die sonst leicht zu einem Irrthume Veranlassung geben. Worauf es hierbei eigentlich ankommt, das ist die Unterscheidung der längslaufenden und querlaufenden Streifen; denn weder die im Zickzack, noch die in der Diagonalrichtung verlaufenden Streifen kommen hier in Betracht, insofern die ersteren positiv einer optischen Täuschung zugeschrieben werden müssen, über die Beschaffenheit der letzteren aber noch nichts mit Sicherheit bekannt ist. An jedem Schüppchen hat man demnach eine feine, mikrometrische Theilung, deren Unterscheidbarkeit natürlich um so schwerer fällt, je zarter die Streifen und je kleiner die Interstitien sind. Da ferner, falls beide Streifenarten vorhanden sind, die queren gewöhnlich schwieriger sich erkennen lassen als die längslaufenden, so hat man an Einem solchen Schüppchen eigentlich zwei verschiedene Probeobjecte: die Längsstreifen kann man für die schwächeren, die Querstreifen für die stärkeren Vergrösserungen benutzen. Auch wird man in der Regel finden, dass die Querstreifen am breiteren Theile der Schüppchen deutlicher gesehen werden als am schmäleren nahe der Basis.

In der folgenden kleinen Tabelle sind Dicke und Abstände der Streifen in der Mitte einiger dieser Probeobjecte verzeichnet. Allerdings stehen

die Schüppchen nicht immer einander an Grösse so gleich, dass diese Zahlen für alle von dem nämlichen Thiere kommenden Schüppchen gelten könnten; da aber (wenn nicht das Gegentheil angegeben ist) immer Schüppchen von mittlerer Grösse zur Messung gewählt wurden, so hat man an den Zahlen dieser Tabelle doch einen Maassstab, der bei der Unterscheidung der Streifen zu Grunde gelegt werden kann. Die Maasseinheit, auf welche die Zahlen hinweisen, ist das Mikromillimeter.

	Längsstreifen.			Querstreifen.		
	Dicke in Mmm.	Entfernung in Mmm.	Es kommen auf 10 Mmm.	Dicke in Mmm.	Entfernung in Mmm.	Es kommen auf 10 Mmm.
Nr. 1. *Lepisma saccharinum.* a. Grössere	1,4	1,6	3,3			
Nr. 1. *Lepisma saccharinum.* b. Kleinere	0,5	0,7	8,3			
„ 2. *Sphinx Elpenor*	1,3	1,4	3,7	0,5	0,7	8,3
„ 3. *Colias rhamni*	1,5	1,5	3,3	0,4	0,5	10,1
„ 4. *Morpho Menelaus*	0,8	1,3	4,8	0,4	0,7	9,0
„ 5. *Bombyx dispar*	0,8	1,7	4,0	0,4	0.6	10,0
„ 6. *Argynnis cynxia*	0.7	0,9	6,2	0,6	0,7	7,7
„ 7. *Lycaena Argus.* a. Gelbe	0,6	0,9	7,0	0,5	1,0	6,6
„ 7. *Lycaena Argus.* b. Braune	0,7	1,1	5,5	0,5	0,5	10,0
„ 8. *Tinea vestianella*	0,6	0,6	8,4	0,4	0,6	10,0
„ 9. *Pieris brassicae*	0.5	1,1	6,2	0,3	0,6	10,1
„ 10. *Hipparchia janira*	0,6	2,0	4,0	0,3	0,5	12,2
„ 11 *Podura plumbea*	0,3	0,5	12,3			

Nr. 1. Die Schüppchen, welche den ganzen Körper von *Lepisma saccharinum* bedecken und den perlmutterartigen Glanz bewirken, sind in Grösse und Form von einander verschieden und passen deshalb nicht gut zu einem comparativen Probeobjecte, wozu sie sich sonst wegen ihrer Durchsichtigkeit und vollkommenen Farblosigkeit sehr gut eignen würden. Man kann aber zwei Hauptformen derselben unterscheiden: die eine (a) giebt sich durch eine keilförmige Gestalt und sehr deutliche Längsstreifen zu erkennen; die andere (b) besitzt mehr eine rundliche Form und hat blassere, dichter bei einander stehende Streifen. Die Streifen der ersteren Form erkennt man schon bei den geringsten Vergrösse-

rungen (30 bis 40 Male) eines guten Mikroskopes, jene der zweiten Form sind erst bei einer 100- bis 150fachen Vergrösserung recht gut sichtbar *).

Nr. 2. Die Schüppchen von *Sphinx Elpenor*, vom röthlich gefärbten Theile der Unterfläche der Vorderflügel stammend, lassen die Längs- und Querstreifen schon bei mässiger Vergrösserung deutlich erkennen.

Nr. 3 kommt von der Unterfläche der Vorderflügel. Die Schüppchen Nr. 4 von der oberen Fläche der Flügel sind bei durchfallendem Lichte gelblich, bei auffallendem Lichte blau gefärbt. Die Schüppchen von Nr. 5 stammen von der oberen Fläche der Vorderflügel. Die unter diesen drei Nummern verzeichneten Probeobjecte sind schwerer zu erkennen, als die Objecte Nr. 1 a und Nr. 2. Um die Querstreifen in der ganzen Länge der Schüppchen zu sehen, sind schon 200- bis 250malige Vergrösserungen erforderlich; die Längsstreifen aber erkennt man schon bei schwächeren Vergrösserungen.

Nr. 6. Die Schüppchen von den perlmutterfarbigen Theilen der Vorderflügel von *Argynnis Cynxia* gehören zu den besten comparativen Probeobjecten, weil sie in Grösse und Form untereinander übereinstimmen. Die Längsstreifen lassen sich schon bei einer mässigen Vergrösserung deutlich erkennen; zur Wahrnehmung der Querstreifen ist wegen der grossen Durchsichtigkeit der Schüppchen eine 300malige Vergrösserung bei guter Beleuchtung erforderlich.

Nr. 7. Auf der Oberfläche der Vorderflügel von *Lycaena Argus* kommen drei Arten von Schüppchen vor: a) Solche, die bei auffallendem Lichte blau, bei durchfallendem hellgelb erscheinen. Diese sind untereinander gleich an Grösse und an Gestalt. Die Längsstreifen eignen sich besonders zur Prüfung bei mässiger Vergrösserung; die Querstreifen dagegen sind sehr schwer sichtbar, weil die Schüppchen sehr durchsichtig und die Streifen sehr schwach sind. Bei einer zweckmässig eingerichteten Beleuchtung von 300 bis 350 Mal sind sie jedoch zu erkennen, nur gehört noch ein hoher Grad von unterscheidendem Vermögen dazu, wenn sie in der ganzen Länge des Schüppchens genau wahrgenommen werden sollen. b) Solche, die bei auffallendem Lichte hellbraun, bei durchfallendem graubraun erscheinen. Sie sind weniger durchsichtig als die vorigen, und zeigen auch nicht in gleichem Maasse eine übereinstimmende Grösse unter einander. Die Längsstreifen sind ziemlich eben so deutlich wie bei den vorigen; die Querstreifen stehen weit dichter bei einander, werden aber, weil sie dunkeler sind, etwas leichter wahrgenommen, jedoch nicht unter einer 300maligen Vergrösserung. c) Eigenthümlich geformte

*) Die Vergrösserungsziffern, welche bei diesen Probeobjecten angeführt werden, beziehen sich auf ein aplanatisches zusammengesetztes Mikroskop mit dem schwächsten gewöhnlich benutzten Oculare, welches, bei etwa 20 Centimeter Länge des Rohres, die Bilder 5 bis 6 Mal vergrössert.

Digitized by Google

kleine eirunde Schüppchen von gelblicher Farbe bei auffallendem sowohl wie bei durchfallendem Lichte. Sie unterscheiden sich von den vorigen und von denen der meisten übrigen Schmetterlinge dadurch, dass ihnen eigentliche Längs- nnd Qnerstreifen fehlen. An deren Statt nimmt man Reihen dunkeler scharf begrenzter runder Punkte wahr, deren jeder ein helles Pünktchen in der Mitte hat. Jeder solche Pnnkt ist die Basis eines sehr kurzen kegelförmigen spitz zulaufenden Härchens, welches sichtbar wird, wenn man die Schüppchen mit einem Glas- oder Glimmerblättchen bedeckt, durch dessen Gewicht die Spitzen einiger Härchen seitwärts gebogen werden. Diese dunkelen Punkte sind 1 bis 1,6 Mmm gross, und stehen 2,5 bis 3,1 Mmm von einander entfernt. Sie eignen sich zur Prüfung des begrenzenden Vermögens bei mässigen Vergrösserungen. Jeder Punkt mnss sich dann scharf begrenzt darstellen nnd von den benachbarten bestimmt abgeschieden sein.

Nr. 8. Auf den Schüppchen von der Oberfläche der Vorderflügel der *Tinea vestianella* sind die Längsstreifen schwerer zu erkennen, als bei den vorhergehenden Probeobjecten; dagegen sind die Querstreifen wegen geringerer Durchsichtigkeit leichter zu erkennen, als bei Nr. 6 und bei Nr. 7 a, trotzdem dass sie näher bei einander stehen. Es kommen übrigens bei diesen Schüppchen zu grosse Verschiedenheiten vor, als dass man sie bei der Vergleichung verschiedener Mikroskope als Maassstab benutzen könnte.

Nr. 9. Die Schüppchen von *Pieris brassicae* sind zu diesem Zwecke tauglicher. Beim Männchen dieses Schmetterlings kommen zwei oder drei Arten von Schüppchen vor. Als Probeobjecte müssen blos solche genommen werden, deren Gestalt von jener der meisten anderen Insecten ganz abweichend ist. Sie sind nämlich an der Basis breiter als am entgegengesetzten Ende nnd herzförmig ausgeschnitten; zwischen den beiden Lappen der Basis befindet sich das rundliche Stielchen, mittelst dessen jedes Schüppchen den Flügeln in einer Höhle der Epidermis eingepflanzt ist. Ausserdem nnterscheiden sich diese Schüppchen von den übrigen des nämlichen Schmetterlings durch ihre grosse Durchsichtigkeit. Sie gehören zu den schwierigeren Probeobjecten. Die Längsstreifen lassen sich allerdings ohne grosse Mühe erkennen; aber die Qnerstreifen scharf begrenzt und in der ganzen Länge des Schüppchens wahrznnehmen, das ist schon eine schwierige Aufgabe für ein Mikroskop.

Nr. 10. Die Flügelschüppchen von *Hipparchia janira* wurden von Amici, dann auch von Mohl empfohlen. Da die Querstreifchen hier ganz dicht bei einander stehen, so zählen dieselben auch mit zn den schwierigen Probeobjecten. Namentlich gilt dies von den Schüppchen des Männchens.

Nr. 11. Die Schüppchen von *Podura plumbea* sind ein noch schwierigeres Probeobject. Die breiteren zickzackförmigen schattenartigen Streifen auf denselben sind allerdings ohne grosse Mühe wahrnehmbar,

Digitized by Google

wenigstens auf den grösseren Schuppen; die Streifen dagegen, welche in den beiden einander deckenden Schichten vorkommen und die Zickzacklinien bedingen, sind bei der grossen Durchsichtigkeit dieser Schüppchen nur durch ein sehr gutes Mikroskop deutlich zu erkennen, znmal wenn sie in einer Flüssigkeit, wie etwa Canadabalsam liegen. Sind dieselben trocken und von Luft umgeben, dann sind jene Streifen allerdings leichter erkennbar, namentlich an den localen Verdicknngen, nnd diese sind wohl Veranlassung gewesen, dass man an diesen Schüppchen auch Qnerstreifen hat finden wollen. Als comparativer Maassstab passen übrigens diese Schüppchen nicht so gut als jene von *Pieris brassicae*, weil sie in der Grösse sehr differiren, so dass an den grösseren Schüppchen die Streifen leichter zu erkennen sind als an den kleineren.

Die drei letztbesprochenen Probeobjecte konnten bis vor mehreren Jahren dazu benntzt werden, die Grenzen des Unterscheidungsvermögens der Mikroskope zu prüfen, und auch jetzt noch eignen sie sich für Objective, deren äqnivalente Linsen eine Brennweite von 3^{mm} und darüber besitzen. Für stärkere Linsensysteme mit kürzerer Brennweite musste man sich nach anderen Probeobjecten mit feineren Zeichnnngen nmsehen, und als solche erkannte man die Kieselpanzer vieler Diatomeen. Zuerst wurden sie in England von Sollitt und Harrison (*Quart. Journ.* 1853. *Transact.* V, p. 61) empfohlen; sie verschafften sich aber alsbald auch auf dem Continente Eingang, und haben nnn die früher gebränchlichen Insectenschüppchen fast ganz verdrängt. Diesen Vorzug verdienen sie anch im Allgemeinen wegen grösserer Regelmässigkeit der Zeichnung nnd weil darunter ganz ungemein feine Zeichnungen vorkommen, die für das optische Vermögen der besten Mikroskope unserer Zeit den äussersten Prüfstein bilden; ja nach der Analogie darf sogar vermuthet werden, dass einzelne mit Zeichnungen ausgestattet sind, die bis jetzt selbst nnseren besten Instrumenten verschlossen bleiben. So darf man hoffen, dass in der Zukunft, wenn in der Verbesserung der Mikroskope Fortschritte stattfinden, anch entsprechende schwerere Probeobjecte aufgefunden werden.

Die Insectenschüppchen haben freilich das vor den Diatomeenschalen voraus, dass sie überall leicht zu beschaffen sind und somit Jedermann eine Suite von Probeobjecten sich zubereiten kann, die wenigstens für die schwächeren Objective vollkommen ausreicht. Dem ist aber wieder dadurch abgeholfen, dass man jetzt die Probeobjecte, namentlich die verschiedenen Diatomeenarten, känflich bekommen kann, in London bei S. Stevens, bei Tennant und anderen, in Paris bei Bourgogne. Da man sich indessen nicht darauf verlassen kann, es vielmehr oftmals sogar unwahrscheinlich ist, dass die angefertigten Probeobjecte immer von den nämlichen Fundorten genommen wurden, und da überdem die Präparirmethode nicht immer die nämliche ist, so macht es sich für eine Vergleichung der

Resultate manchmal nöthig, dass der Name des Präparatenverfertigers beigefügt wird.

In den Zeichnungen der Oberfläche der Diatomeen kommen entschieden grössere Verschiedenheiten vor, als in jenen der Insectenschüppchen. Bei den zu Probeobjecten benutzten kommt es ebenfalls meistens darauf an, dass Systeme feiner Striche zur Wahrnehmung gelangen, die in einer Richtung einander parallel verlaufen, aber auch wohl in zwei oder selbst drei verschiedenen Richtungen. In den beiden letztgenannten Fällen durchkreuzen sich die Striche unter verschiedenen Winkeln und begrenzen dann ganz kleine viereckige, rautenförmige, sechseckige oder runde Felder. Wenn die feinsten Zeichnungen die Grenze des optischen Vermögens unserer gegenwärtigen Mikroskope berühren, so wird sich der Natur der Sache nach unmöglich mit einiger Bestimmtheit ausmachen lassen, ob die gerade noch sichtbaren Striche als Erhabenheiten oder als Einkerbungen zu betrachten sind. Indessen auch bei anderen als Probeobjecte benutzten Diatomeenschalen mit weniger feiner Zeichnung, die schon durch schwächere Linsensysteme erkennbar und durch die stärksten ganz deutlich wahrnehmbar ist, gehen die Ansichten der Mikrographen über die Structur der Schalen und die dadurch bedingte Zeichnung aus einander. Manche halten die kleinen durch Streifen begrenzten Felder für Erhabenheiten und die Streifen selbst für dazwischen liegende Vertiefungen, die meisten aber sind der gegentheiligen Ansicht, dass die Streifen erhaben und die Felder vertieft sind. Für beide Ansichten kann man unter den gröber gezeichneten Diatomeen Analogien finden; unverkennbar überwiegen aber die Fälle, wo die Streifen sich als Verdickungen ausweisen, die an der Aussenseite, aber auch an der Innenseite der Schale vorkommen. In Betreff der als Probeobjecte benutzten Sorten kommt mir dies auch als das Wahrscheinlichste vor, wenngleich ich nicht verhehlen darf, dass mir die Sache wiederum zweifelhaft geworden ist durch einzelne Beobachtungen an den zerbrochenen Schalen von *Pleurosigma formosum* und *Pleurosigma angulatum*, wo die dünnen Schalen mehr oder weniger im Durchschnitte sich darstellten. Indessen gehört diese Frage eher in eine morphologische Untersuchung der Diatomeen, nicht aber hierher, wo blos von deren Werthe als Probeobjecte die Rede ist und die Deutung des Gestreiftseins ganz und gar gleichgültig ist, weshalb werde ich nicht auf jene Controverse eingehe *).

---

*) Ich verweise hier auf Rylands, *On the Markings of Diatomaceae* (*Quart. Journ.* Oct. 1859, p. 25), auf Wallich, *On the Development and Structure of the Diatomvalve* (Ibid. April 1860, p. 129), auf Max Schultze (*Verhandl. des naturhist. Vereins der Preuss. Rheinlande u. Westphalen.* XX, S. 1), auf Ch. Stodder (*Proceedings of the Boston Soc. for Nat. Hist.* 1862. IX, p. 2. oder *Quart. Journ.* July 1863, p. 214), auf Carpenter (*The Microscope.* 3. Ed. p. 292). Wie schwer es fällt, in dieser Beziehung zu einem sicheren Resultate zu gelangen, mag daraus

Drei Punkte kommen bei Beurtheilung des Werthes der Diatomeenschalen als Probeobjecte in Betracht: a. der Abstand der Streifen, oder was das Nämliche ist, die Anzahl der Streifen in einer bestimmten Strecke; b. der Grad ihrer Sichtbarkeit; c. die Uebereinstimmung in der Zeichnung bei verschiedenen Individuen der nämlichen Sorte.

In der nachfolgendeu Tabelle sind einige Messungen von Sollitt u. Harrison (*Quart. Journ.* 1853. V, p. 62), von Dr. Hall (*Quart. Journ.* 1856. XV, Beschreibung der 13. Tafel), von Sollitt allein (*Quart. Journ.* 1859. XXIX, p. 51) zusammengestellt, wobei ich die Maasse auf Mikromillimeter reducirt habe.

	Streifen auf 10 Mmm
Pleurosigma formosum (Sollitt)	8,0 bis 12,6
Pleurosigma formosum (Hall)	14,2
Navicula strigilis (S. u. H.)	13,0
Pleurosigma balticum (Sollitt)	8,0 bis 16,0
„ *quadratum* (Sollitt)	13,7 bis 24,0
„ *Hippocampus* (Sollitt)	16,0 bis 17,8
„ *Hippocampus* (Hall) Längsstreifen	12,2
„ *Hippocampus* (Hall) Querstreifen	15,8
„ *attenuatum* (Sollitt)	13,7 bis 18,0
„ *Spenceri* (S. u. H.)	19,7
„ *lineatum* (S. u. H.)	23,6
„ *strigosum* (Sollitt)	16,0 bis 32,2
„ *strigosum* (S. n. H.)	27,6 bis 31,5
„ *angulatum* (Hall)	20,4
„ *angulatum* (Sollitt)	18,0 bis 20,0
„ *angulatum* (S. u. H.)	23,6 bis 27,6
Ceratoneis fasciola (Sollitt)	19,7 bis 35,4
„ *fasciola* (S. u. H.)	35,4
Navicula rhomboides (Sollitt)	24,0 bis 43,4
Nitzschia sigmoidea (S. u. H.)	41,3
Navicula (Eunotia) arcus (S. u. H.)	51,2
Amphipleura pellucida (Sollitt)	47,0 bis 51,2

Ich füge sogleich ein Paar von mir selbst verrichtete Zählungen bei, die zum Theil an den nämlichen Arten ausgeführt wurden, die in vor-

---

entnommen werden, dass Wenham (*Quart. Journ.* 1855. p. 244), namentlich nach seinen Beobachtungen an galvanotypischen Abdrücken von Diatomeen, worunter sich auch ziemlich schwer lösliche Arten befanden, zu dem Schlusse kam, die Streifen seien erhaben und die Felder dazwischen seien vertieft, dass aber der nämliche Wenham (*Quart. Journ.* April 1860. p. 145) späterhin, als er ein starkes selbstverfertigtes Linsensystem von $1/_{50}$ engl. Zoll Brennweite benutzte, der entgegengesetzten Ansicht sich anschloss, und nun die Schalen von *Pleurosigma angulatum* und anderen Diatomeen aus gewölbten dicht an einander gefügten Kieseltheilchen bestehen lässt.

stehender Tabelle verzeichnet sind. Ich benutzte Präparate von Stevens in London, und erwählte dazu mittelgrosse Individuen.

		Streifen auf 10 Mmm.
Pleurosigma formosum		10
" *speciosum*		12
" *sigmoideum*		14
" *angulatum*		15
" *Spenceri*	Längsstreifen	15
	Querstreifen	16
Ceratoneis fasciola	Längsstreifen	14
	Querstreifen	21

Vergleicht man diese verschiedenen Data unter einander, so gewahrt man alsbald, dass gleichnamige Diatomeen Probeobjecte von sehr ungleichem Werthe sein können, und zwar wegen der mancherlei individuellen Verschiedenheiten. Ich habe im Allgemeinen kleinere Werthe als die englischen Forscher erhalten und möchte glauben, dass letztere bei ihren Schätzungen meistentheils zn hoch gegriffen haben.

Ueberdies variirt auch die Sichtbarkeit der einzelnen Streifen, und ans diesem Grunde darf man in ihren wechselseitigen Abständen nicht das alleinige Maass der mühsamen Unterscheidbarkeit finden. Beides muss im Auge behalten werden, wenn das optische Vermögen von zwei oder mehr Mikroskopen nach dem, was man an Diatomeenschalen damit wahrnimmt, abgeschätzt werden soll, und zumal dann, wenn die Mikroskope nicht neben einander stehen, die Untersuchung vielmehr an verschiedenen Orten und mit verschiedenen Präparaten vorgenommen wird.

Unter den genannten Probeobjecten zeichnen sich einzelne durch ein entschieden gleichmässigeres Verhalten ans. Dahin gehört *Pleurosigma formosum* mit zwei Systemen von Streifen, die beide unter einem Winkel von 45° gegen die Längsaxe der Schale gerichtet sind nnd sich somit unter rechten Winkeln schneiden. Die Streifen umschliessen daher vierseitige Felder, die an den Winkeln abgerundet sind. Beiderlei Streifen erkennt man mit einem guten Objective von 3^{mm} Brennweite bei centrischer Belenchtung. *Pleurosigma speciosum* hat ganz gleiche Streifengruppen, die aber etwas schwerer zn erkennen sind.

Zn den Probeobjecten, die mit Recht am häufigsten benutzt werden, zählt *Pleurosigma angulatum*. Auf dessen Schalen kreuzen sich ebenfalls zwei Systeme von Streifen, aber nnter einem Winkel von etwa 50°, so dass mit der Axe der Schale ein spitzerer Winkel herauskommt, als bei den beiden vorigen Arten. Dazu kommt aber noch eine dritte Art von Streifen, die senkrecht auf der Axe stehen und somit qnerverlaufend sind. Diese queren Streifchen sind etwas weiter von einander abstehend, als die beiden anderen Streifenarten; dabei sind sie aber merklich schmaler

Digitized by Google

und deshalb auch nicht so leicht erkennbar. Bei richtiger Einstellung des Mikroskopes bilden diese Streifenarten sechseckige, an den Ecken abgerundete Felder, die nach der Axe der Schale etwas verlängert sind. Mit Objectiven von 2mm und weniger Brennweite, d. h. bei 350facher Vergrösserung und darüber bei Benutzung des schwächsten Oculares, sollen alle drei Streifenarten unterschieden werden, wenn centrische Beleuchtung stattfindet. Aber erst bei Benutzung stärkerer Oculare stellt sich die Form der kleinen Felder heraus, und zwar je nach der Einstellung dnnkel oder erhellt.

Die weiter zu erwähnenden Probeobjecte verlangen bei allen mir bisher bekannt gewordenen stärkeren Objectiven schief einfallendes Licht, und da hierbei viel ankommt auf die mechanische Einrichtung des Instrumentes, nicht minder aber auch auf die Geduld des Beobachters und anf seine Uebnng im Gebranche des Beleuchtungsapparates, so sind die damit erhaltenen Resnltate nicht sehr zuverlässig oder zu Vergleichungen geeignet. Dann erst werden dergleichen Probeobjecte ihren vollen Werth erlangen, wenn es gelingen sollte, Objectivsysteme herzustellen, womit die darauf vorkommenden Zeichnungen schon bei centrischer Beleuchtung sichtbar werden.

Surirella gemma hat zu beiden Seiten der Mittelrippe quere, senkrecht darauf gestellte Rippchen, von denen ziemlich grosse, unregelmässig rautenförmige oder trapezoidische Felder umschlossen werden. Bei schief einfallendem Lichte erkennt man in diesen Feldern feine Streifchen, die mit jenen Rippchen parallel verlaufen, und es kommen 16 bis 18 auf die Strecke von 10 Mikromillimetern; die meisten Felder indessen sind kürzer, nnd im Allgemeinen findet man nur eine geringere Anzahl von Streifchen darin. Mittelst eines Objectivsystemes mit höchstens 1,4mm Brennweite, mit recht grossem Oeffnungswinkel und sorgfältig zu regulirender schiefer Beleuchtnng, vermag man überdies noch ein anderes System von Streifen zu unterscheiden, welche rechtwinkelig auf die ersteren treffen, etwas gebogen verlaufen, und dabei noch weit zarter sind und gedrängter an einander stehen. Diese Streifchen verlaufen über die Rippchen und über die Felder, also nach der Länge der Schale.

Etwa gleich schwierig fällt es, die Querstreifchen auf den Seitentheilen der Schalen von *Grammatophora subtilissima* zu unterscheiden, welche von Bailey als Probeobject eingeführt worden ist. Da bei der grösseren *Grammatophora marina* neben diesen Querstreifchen auch noch einander durchkreuzende schiefe Streifen wahrgenommen werden, ungefähr wie bei *Pleurosigma angulatum*, so steht zu vermuthen, dass *Grammatophora* ebenfalls ein solches System von Streifen besitzt. Nach der Angabe von Frey (*Das Mikroskop und die mikroskopische Technik.* 2. Aufl. Lpz. 1865. S. 45) soll es Hartnack auch mit einem seiner stärksten Systeme gelungen sein, diese Streifen zu sehen. Ich muss aber bemerken,

dass ich mit einer ganz vorzüglichen Nr. 11 von Hartnack nicht so weit gekommen bin.

Mit den genannten Probeobjecten kommt man aus, wenn das Unterscheidungsvermögen auch der stärksten Objectivsysteme geprüft werden soll. Mit ein Paar Worten habe ich aber noch einiger anderen zu gedenken, die ich freilich nicht aus eigener Erfahrung kenne.

Die Commission für Prüfung der Mikroskope auf der Londoner Ausstellung von 1862 hat auch *Navicula affinis* benutzt. Darauf befinden sich längslaufende Streifen, die ziemlich leicht erkennbar sind; diese werden aber von Querstreifen gekreuzt, die rechtwinklig zu ihnen und zu der Längsaxe stehen, dabei aber höchst zart und dichtgedrängt sind. Diese Querstreifen machen die *Navicula affinis* zu einem Probeobjecte ersten Ranges. Hierüber ist H. van Heurck (*Annales de la Soc. phytologique d'Anvers.* I, p. 15) zu vergleichen.

Hyalodiscus subtilis wurde von Bailey (*Smithsonian Contributions*, II — VII) empfohlen und auch von Hendry (*Quart. Journ. July* 1861, *N. Ser.* III, p. 179) beschrieben. Die Schale ist scheibenförmig und an der Oberfläche der Scheibe zeigen sich äusserst feine Streifchen, die zum Theil strahlenförmig aus der Mitte nach der Peripherie hin verlaufen, aber von zwei anderen Systemen gebogener Streifen durchkreuzt werden. Dadurch bekommt das Ganze ein guillochirtes Aussehen, wie man es nicht selten an Uhrgehäusen findet. Dieses Probeobject verdient in gewisser Beziehung noch den Vorzug vor *Navicula* und *Pleurosigma* und vor anderen länglichen Formen, weil man sich nicht darum zu mühen braucht, dass auf einem Punkte der Oberfläche die Zeichnung bei schief auffallendem Lichte gesehen werde. Aus diesem Grunde wäre es selbst wünschenswerth, wenn noch andere scheibenförmige Diatomeen, aus den Gattungen *Coscinodiscus*, *Arachnodiscus*, *Campylodiscus*, *Auliscus*, *Eupodiscus* u. s. w. zu Probeobjecten benutzt würden. Freilich haben die bekannten meistentheils eine Zeichnung, die bei aller Regelmässigkeit nicht fein genug ist, um sich ihrer für den genannten Zweck zu bedienen; es ist aber ganz wahrscheinlich, dass man, genauer darauf achtend, auch noch feiner gezeichnete Arten entdecken würde. Dabei vergesse man nicht, dass bei solchen scheibenförmigen Diatomeen die Feinheit der Zeichnung in der Regel von der Peripherie nach dem Centrum hin zunimmt. Man hat somit an jedem derartigen Individuum gleichsam mehrfache Probeobjecte vor sich, so dass es sich nöthig machen könnte, anzugeben, in welcher Entfernung vom Rande die Streifensysteme noch erkennbar sind.

Als Probeobjecte können ferner noch die Amylumkörner von *Solanum tuberosum* und von einigen anderen Pflanzen wegen der Begrenzungslinien der den Kern concentrisch umgebenden Schichten in Betracht kommen, ferner die Tracheen der Insecten mit ihrem Spiralfaden, der im-

mer feiner wird, je mehr sich das Gefäss verjüngt, oder die zarten Cilien der sich bewegenden Algensporidien, sowie das spiralig gewundene dünne Ende der Spermatozoen der verschiedenen Tritonarten u. s. w.

Die gestreiften Insectenschüppchen und die Kieselpanzer der Diatomeen hat man vorzüglich empfohlen, um das unterscheidende Vermögen eines Mikroskopes zu prüfen, und dazu sind sie auch in sofern als besonders geeignet anzusehen, weil bei ihnen, gleichwie auch bei den anderen genannten Körpern, es vorzüglich auf das Erkennen sehr geringer Abweichungen der Lichtstrahlen ankommt, wozu ein grosser Oeffnungswinkel erforderlich ist. Wirklich verschwinden viele schwer wahrnehmbare Einzelnheiten dieser Probeobjecte, wenn man den Oeffnungswinkel kleiner macht, obwohl das begrenzende Vermögen dabei keine Veränderung erleidet.

Indessen wird ein etwas geübter Beobachter mit ihrer Hülfe auch sehr gut den Grad des letztgenannten Vermögens bestimmen können. Je mehr dieses entwickelt ist, desto schärfer, bestimmter und dunkeler zeigen sich alle Umrisse, nicht blos der ganzen Objecte, sondern auch der darauf vorkommenden Streifen.

Mehr ausschliesslich zur Prüfung des begrenzenden Vermögens hat Goring folgende Probeobjecte empfohlen: a) Die Haare der gewöhnlichen Maus; hier müssen die dunkelen Stellen (theilweise mit Luft erfüllte Zellen), die mit durchsichtigen Partien abwechseln, genau unterschieden werden können. b) Die Haare auf den Flügeln der Fledermaus; hier kommt es besonders darauf an, dass man die Bildung der Epithelialschicht deutlich erkennt, deren platte, schuppenförmige Zellen in einer spiralig gedrehten Linie nach aussen vorspringen. c) Die weiter oben beschriebenen gefleckten Schüppchen von *Lycaena Argus.*

Am besten prüft man aber diese Seite des optischen Vermögens mit jenen Mitteln, die weiter oben als die geeigneten bezeichnet wurden, um den Grad der Verbesserung beider Aberrationen zu untersuchen. Bei schwächeren Vergrösserungen können daher kleine weisse Körperchen, wie Amylumkörner, die Pollenkörner vieler Pflanzen u. s. w., die man auf schwarzem Grunde bei auffallendem Lichte betrachtet, als geeignete Probeobjecte angesehen werden. Sie müssen sich in scharfer und bestimmter Zeichnung, ohne eine Spur von Lichtnebel, darstellen. Will man starke Vergrösserungen prüfen, dann empfehlen sich die kleinen Oeffnungen in den nicht verholzten Zellwänden, welche wahrnehmbar werden, wenn man den Durchschnitt einer pflanzlichen Substanz mit Jodtinctur durchtränkt und dann nach Verdunstung des Alkohols mit Schwefelsäure befeuchtet, die mit $^1/_3$ ihres Gewichts Wasser verdünnt ist. Auf den hierdurch dunkel violett gefärbten Zellwänden müssen diese Oeffnungen da, wo das Spiegellicht gerade durch sie treten kann, mit scharfen Rändern sich darstellen, und wo mehrere dicht bei einander liegen, da müs-

sen sie deutlich gesehen werden. Besonders eignen sich dazu solche Gewebe, z. B. die Wände von den Parenchymzellen der Kartoffel, wo die Oeffnungen hier und da zu kleinen Gruppen vereinigt sind, die sich bei schwachen Vergrösserungen oder auch bei stärkeren, falls das begrenzende Vermögen unvollkommen ist, als eine einzige grössere Oeffnung darstellen, während dann durch ein gut begrenzendes Mikroskop bei genugsamer Vergrösserung (400 bis 500 Male) statt des Einen Loches 5 bis 15 äusserst kleine Oeffnungen von $^1/_{3000}$ bis $^1/_{2000}{}^{mm}$ Durchmesser mit sehr schmalen Interstitien zum Vorschein kommen.

241 Ein Uebelstand verknüpft sich mit dem Gebrauche aller organischen Probeobjecte: die Resultate, zu denen ein Beobachter mittelst seines Mikroskopes gekommen ist, lassen sich niemals vollständig mit denen eines anderen vergleichen, weil die gleichnamigen Objecte selbst unter einander zu sehr in Grösse und Deutlichkeit verschieden sind. Es giebt allerdings wohl einige, die in dieser Beziehung vor den übrigen den Vorzug verdienen; allein es bleibt doch wünschenswerth, einen zuverlässigeren Maassstab zu besitzen, der das optische Vermögen eines Mikroskopes auf eine Weise erkennen lässt, die überall und stets Geltung hat. Besser genügt nun diesem Zwecke eine mikrometrische Theilung auf Glas. Nobert (Poggendorff's *Annal.* 1846. Nr. 2, S. 175) hat den glücklichen Gedanken gehabt, ausdrücklich hierzu bestimmte Glasplatten zu verfertigen mit einer Anzahl (10 bis 30) Liniengruppen, und diese Linien sind in der ersten Gruppe am weitesten, in der letzten Gruppe am wenigsten von einander entfernt. Man kann so die verschiedenen Gruppen nach einander in die Mitte des Feldes bringen und erforschen, welche Gruppe durch das gebrauchte Mikroskop noch in die einzelnen Linien zerlegt wird. Im dritten Bande werde ich ausführlicher von diesen merkwürdigen Probeplättchen handeln, und es wird sich da zeigen, dass es der Kunst gelungen ist, in der Feinheit der Theilung die Natur noch zu übertreffen. Nur über den Gebrauch derselben sollen hier einige Bemerkungen beigefügt werden.

Zuvörderst hüte man sich, eine Streifung in einer Gruppe für wirkliche Trennung in die sie zusammensetzenden Linien zu halten. Das kann nämlich leicht geschehen, weil diese Linien, ungeachtet aller Sorgfalt, womit sie gezogen werden, doch nicht an allen Punkten vollkommen gleiche Dicke haben, vielmehr durch ungleichen Druck des Diamanten hier und da etwas gröbere Striche entstehen, die den Ungeübten täuschen können. Sodann sorge man dafür, dass die am schwersten zu trennende Gruppe gerade in der Mitte des Gesichtsfeldes liegt. Das gilt zwar für alle Probeobjecte überhaupt; es wird aber diese Vorsicht hier leichter verabsäumt, weil man eine Anzahl Gruppen auf Einmal übersieht. Drittens muss dann bei Anwendung schief einfallenden Lichtes

darauf gesehen werden, dass die Linien auf der Richtung, in welcher die Strahlen durch den Spiegel reflectirt werden, senkrecht stehen.

Prüft man verschiedene Mikroskope mittelst des nämlichen Probeplättchens, so wird man über deren auflösendes Vermögen vergleichbare Resultate gewinnen; weniger ist das aber der Fall, wenn man verschiedene Probeplättchen benutzt. Die früheren Nobert'schen Gläser stimmen mit den späteren in Betreff der Entfernung der Linien in den gleichnamigen Gruppen nicht ganz überein, und ausserdem kommen auch nicht selten Unterschiede vor in der Sichtbarkeit der Linien gleicher Gruppen auf verschiedenen Gläsern. Das ist auch nicht zu verwundern, da die geringste Abweichung im Druck des Diamanten oder in der Härte des Glases auf die Dicke der gezogenen Linien von Einfluss sein muss. Dazu kommt noch, dass die Sichtbarkeit der Linien auf solchen Gläsern, die einige Jahre alt sind, allmälig abnimmt; so finde ich es wenigstens bei den meinigen. Bei den früheren von Nobert gelieferten Gläsern, die unbedeckt waren, lässt es sich aus dem Abreiben behufs der Reinigung von Staubtheilchen erklären, da hier, ungeachtet aller angewandten Vorsicht, von den äusserst feinen Rändern der Rinnen immer etwas weggenommen werden muss. Später hat Nobert seine Gläser mit einem Deckplättchen versehen, das an den Rändern mit Canadabalsam aufgeklebt ist; aber durch Verdunstung des darin enthaltenen Terpentinöls scheinen sich die Rinnen mehr oder weniger gefüllt zu haben, so dass sie an Sichtbarkeit verloren. Rathsam ist es daher, zum Aufkleben des Deckplättchens keine flüchtige Substanz zu benutzen, sondern Siegellack oder sonst eine in der Wärme flüssige Masse.

Bevor ich diesen Gegenstand verlasse, muss ich noch auf einige 242
Punkte aufmerksam machen, die bei Beurtheilung eines Mikroskopes nach den durch die Untersuchung gewonnenen Ergebnissen, mögen nun die erwähnten Probeobjecte oder mögen mikroskopische Theilungen benutzt worden sein, Beachtung verdienen.

1. Wir haben früher (§. 160) gesehen, dass es auf die Schärfe des Bildes einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss übt, ob die Objecte mit einem Glasplättchen bedeckt sind oder nicht. Man muss deshalb Deckplättchen von verschiedener Dicke benutzen, um die Grösse dieses Einflusses kennen zu lernen. Aus diesem Grunde ist es auch nicht gut, wenn man die Probeobjecte unter Glasplättchen aufbewahrt; dazu eignen sich besser Glimmerblättchen, die so dünn gemacht werden können, dass die dadurch hervorgebrachte Störung im Gange der Lichtstrahlen als nicht bestehend erachtet werden mag.

2. Welchen Einfluss der Grad der Beleuchtung, sowie die Richtung der Lichtstrahlen auf die Sichtbarkeit der Objecte üben, darf bei dieser Untersuchung ganz besonders nicht aus dem Auge verloren werden. Man

kann als Regel aufstellen, dass die Beleuchtung des Gesichtsfeldes um so schwächer ausfallen muss, je durchsichtiger die Probeobjecte sind. Die meisten Probeobjecte, namentlich die gestreiften, stellen sich bei schief einfallendem Lichte am besten dar. Ueber andere Vorkehrungen, die im Allgemeinen bei mühsamen Beobachtungen zu treffen sind, damit die Beleuchtung möglichst günstig für ein Sichtbarmachen eingerichtet werde, verweise ich auf das betreffende Kapitel (§. 202 u. folgd.).

3. Das Probeobject muss immer in die Mitte des Gesichtsfeldes kommen, weil das Bild dort am schärfsten sich ausprägt.

4. Vergleicht man zwei oder mehr Mikroskope, so ist im Allgemeinen jenes das beste, wodurch man ein gewisses Probeobject bei schwächerer Vergrösserung gleich gut sieht, wie bei der stärkeren Vergrösserung des anderen. Man vergesse aber nicht, dass jedes zusammengesetzte Mikroskop aus einer Anzahl Objectiv- und Ocularsysteme besteht, deren jedes eigentlich ein selbstständiges Instrument darstellt, dass also möglicher Weise einzelne Combinationen des einen Mikroskopes denen von etwa gleicher Stärke im andern nachstehen können, während bei andern homologen Combinationen das Umgekehrte stattfindet. Wo es demnach auf eine gründliche Beurtheilung ankommt, darf man sich nicht damit begnügen, blos ein Paar Verbindungen von Objectiven und Ocularen mit einander zu vergleichen, vielmehr müssen sie insgesammt einer Prüfung unterliegen. Sollen ferner bei aplanatischen Mikroskopen die Combinationen mit einander vergleichbar sein, so genügen nicht die einander nahe stehenden Vergrösserungsziffern, sondern es muss darauf geachtet werden, dass die benutzten Objective und Oculare möglichst gleiche Brennweiten haben; davon hängt nämlich der Antheil ab, den jedes für sich an der Gesammtvergrösserung hat, und es ist die Schärfe des Bildes in der Regel um so grösser, je mehr der Antheil des Objectives jenen des Oculares übertrifft. Es genügt also nicht, wenn man eine 300malige Vergrösserung eines Mikroskopes mit einer 300maligen Vergrösserung eines andern vergleicht, die Factoren dieser Vergrösserungsziffer (§. 147) müssen auch ungefähr die nämliche Grösse haben.

243 Ich theile hier noch eine etwas weitläufige Methode mit, die ich aber zur Prüfung des optischen Vermögens eines Mikroskopes am geeignetsten erachte, weil sie mit grosser Genauigkeit und Sicherheit die äussersten Grenzen der Sichtbarkeit und Unterscheidbarkeit der Objecte zu bestimmen erlaubt, so dass es möglich wird, den Grad des optischen Vermögens unter den verschiedensten Umständen in Zahlen auszudrücken.

Es besteht diese Methode einfach darin, dass man nicht die kleinen Objecte selbst, sondern deren dioptrische Bilder durch das Mikroskop betrachtet. Diese Bilder lassen sich nach Willkür verkleinern, indem man das Object, dessen Bild sich formt, ferner rückt, und man hat es somit in

seiner Gewalt, die äusserste Grenze zu bestimmen, bei welcher das Bild eben noch wahrnehmbar ist.

Zur Erzeugung der Bilder könnte man achromatische Linsensysteme benutzen. Aber selbst bei solchen mit kürzester Brennweite müssten, wenn die Bilder klein genug werden sollen, die Objecte entweder sehr weit gerückt sein, was mit manchen Unannehmlichkeiten verknüpft und nur bei horizontaler Stellung des Mikroskopes ausführbar wäre, oder die Objecte selbst müssten ungemein klein sein, und dann würde wieder die genaue Bestimmung ihres Durchmessers leiden, woraus doch weiterhin der des noch eben sichtbaren Bildes berechnet werden muss.

Besser eignen sich dazu kleine Luftblasen in einer Flüssigkeit. Am liebsten nehme ich eine wässerige Solution von arabischem Gummi, worin immer eine Menge solcher Luftblasen vorkommen, herrührend von der zwischen den Theilchen des Pulvers befindlichen Luft. Es ist gut, wenn man Wasser nimmt, das entweder eine geraume Zeit an der Luft gestanden hat oder stark geschüttelt worden ist; gebraucht man nämlich Wasser, das nicht mit Luft gesättigt war, so werden die Luftblasen in der Auflösung allmälig kleiner, die Bilder selbst nehmen an Grösse ab, und dies giebt Veranlassung zu Fehlern in den Resultaten der folgenden Messungen.

Auf ein reines Glasplättchen bringt man nun ein Tröpfchen der Auflösung und legt ein Glimmerblättchen oder ein dünnes Deckgläschen darauf, nachdem man ein Paar kleine Papierstreifchen zu beiden Seiten des Tröpfchens angebracht hat, um das Plattdrücken der Luftbläschen zu verhüten. Das Glasplättchen bringt man dann auf dem Objecttische unters Mikroskop und sucht sich eine Luftkugel von passender Grösse aus. Denn nicht alle erzeugen ein gleich nettes und scharfes Bild, woran besonders der Umstand schuld ist, dass manche an das Deckplättchen stossen und dadurch ihre sphärische Form verlieren. Auch können sich unter oder über der Luftblase kleine Molekeln in der Flüssigkeit befinden, oder selbst im Inneren der Luftblase, und dies hat, ähnlich der unvollkommenen Politur einer Glaslinse, zur Folge, dass das Bild etwas Nebelartiges bekommt. Man wird indessen immer ohne Mühe ein Paar ausfindig machen, wodurch Bilder von grosser Schärfe und Bestimmtheit entstehen *), was man vorher dadurch erproben kann, dass zwischen den Spiegel und den Objecttisch ein Stück Papier oder etwas dergleichen gehalten wird. Das Bildchen befindet sich immer etwas unter der Luftblase und diese muss daher etwas näher ans

*) Folgendes Beispiel kann zum Beweise dienen. Ich brachte eine Blattseite eines gedruckten Buches in solcher Entfernung unter eine Luftblase, dass das Bild der ganzen Blattseite nur $\frac{1}{7}$mm lang war, und das Bildchen des einzelnen Buchstabens nur $\frac{1}{480}$mm Länge hatte. Ungeachtet dieser Kleinheit hatten diese bei auffallendem Lichte erzeugten Bildchen noch so viel Schärfe und Helligkeit, dass bei einer 154maligen Vergrösserung die ganze Blattseite ohne Mühe lesbar war.

Mikroskop gebracht werden, als es nöthig wäre, um ihre Ränder mit Schärfe zu sehen.

Das Object, dessen Bild zur Untersuchung dienen soll, muss auf einen Apparat kommen, der gestattet, dasselbe in dem Raume zwischen Spiegel und Objecttisch auf und ab zu bewegen. Das ist bei manchen Mikroskopen schwer auszuführen, entweder weil dieser Raum zu klein ist, oder wegen der trommelartigen Gestalt des Fnsses, wodurch dieser Ranm ganz verdeckt wird. Sind solche Mikroskope statt eines Spiegels mit einem reflectirenden Prisma versehen, dann kann das Object an die ausserhalb des Mikroskopes befindliche Seite kommen. Am meisten eignen sich aber zur Ausführung dieser Methode solche Mikroskope, deren Belenchtungsapparat aus einem Spiegel und einer Sammellinse besteht, die sich höher und niedriger stellen lässt. Man nimmt dann diese Linse aus dem einfassenden Ringe heraus und bringt dafür an ihre Stelle das Object. Die relative Grösse des Objectes nnd der Luftblase muss der Art sein, dass das Bild schon sehr klein ist, wenn das Object noch nahe dem Objecttische sich befindet. Wird es dann allmälig von diesem, also von der Lnftblase entfernt, so fällt es nicht schwer, die genaue Grenze zu finden, wo das Bildchen bei der angewendeten Vergrösserung nur noch eben sichtbar ist. Dabei beachte man, dass in dem Maasse, als das Object von der Luftblase wegrückt und sein Bild sich verkleinert, letzteres näher der Lnftblase sich formt, weshalb das Mikroskoprohr mit dem Objecttische etwas gehoben werden muss, um das bereits verschwundene Bildchen wieder zur Ansicht zu bringen.

Natürlich ist es nicht möglich, die Grösse dieser kleinsten noch sichtbaren Bildchen durch directe Messung zn bestimmen, da nnsere besten mikrometrischen Methoden hierzn nicht ausreichen. Gleichwohl lässt sich diese Grösse mit grosser Genauigkeit auf folgende Weise ermitteln. An die Stelle des früher gebrauchten kleinen Objectes und in ganz gleicher Entfernung von der Luftblase bringt man einen viel grösseren Gegenstand, dessen Durchmesser vorher genau bestimmt worden ist. Das Bequemste ist, wenn man Kartenblattstreifchen von 0,5 bis 5 Centimeter Durchmesser in Bereitschaft hat. Man nimmt ein solches, welches für den gegebenen Fall am besten zn passen scheint. Jetzt misst man nach einer der mikrometrischen Methoden (wovon später nmständlicher die Rede sein wird) das unter der Luftblase entstehende Bild, als wäre es ein wirkliches Object. Dividirt man dann mit dem gefundenen Durchmesser in den Durchmesser des benutzten Objectes, so erhält man die Verkleinerungszahl, die für alle in die nämliche Entfernung gebrachten Gegenstände gültig ist. Man braucht daher nur in den Durchmesser des zuerst benutzten kleineren Objectes durch diese Verkleinerungsziffer zu dividiren, so erhält man die wahre Grösse des eben noch sichtbaren Bildchens. Der Durchmesser des grösseren Objectes sei z. B. 5 Centimeter, und sein

Bild messe $32{,}2^{mm}$, so ist die Verkleinerungsziffer $= \frac{50000}{32{,}2} = 1553$. Hätte dann das kleinere Object einen Durchmesser von 175 Mmm, so ist der Durchmesser seines noch eben sichtbaren Bildes $= {}^{175}/_{1553} = 0{,}113$ Mmm oder ${}^{1}/_{8856}{}^{mm}$. Benntzt man genauere mikrometrische Methoden, so ist es möglich, auf diesem Wege die Grösse des Bildchens bis zu Millionteln des Millimeters mit Sicherheit zu bestimmen.

Man hat aber dafür zu sorgen, dass die Grösse der benntzten Luftblase nicht dnrch Temperaturwechsel eine Veränderung erleidet, wovon man freilich nur wenig zu besorgen hat, wenn die Bestimmnng der Verkleinerungsziffer der Bestimmung der Sichtbarkeitsgrenze unmittelbar nachfolgt, nnd wovon man sich auch zum Ueberflusse noch überzeugen kann, wenn man das Bild des grösseren als Maassstab benutzten Objectes selbst vor und nach der Beobachtung misst.

In der Wahl der Objecte zu diesen Bestimmungen steht ein grosses Feld offen. Um die Sichtbarkeitsgrenzen runder nnd langer fadenförmiger Objecte anf einem durch den Spiegel beleuchteten Hintergrunde zn finden, können Körnchen von Perlsago, kleine Samenkörner, z. B. Senfsamen, die Pollenkörnchen vieler Pflanzen, Haare von Thieren, Draht n. s. w. benntzt werden. Kleine rnnde Oeffnnngen und Spalten kann man auch dazn verwenden, die Sichtbarkeitsgrenzen positiver Lichtbilder zu bestimmen. Nnr mnss im letzteren Falle dafür gesorgt werden, dass durch passend angebrachte Fntterale nnd Schirme alles Licht abgehalten wird, mit Ansnahme des durch die Oeffnung tretenden. Um die Grenzen der Unterscheidbarkeit zn bestimmen, eignet sich ganz gnt ein Drahtgeflecht, oder wenn man an einer geschwärzten Platte zwei Oeffnungen dicht bei einander anbringt, deren Bilder dann im Mikroskope sich ganz so darstellen, wie ein Doppelstern dnrch ein Teleskop betrachtet. Man kann anch die Objecte verschiedenartigen Einflüssen aussetzen, um deren Wirkung auf die Sichtbarkeitsgrenzen kennen zu lernen. So kann man ein dünnes gläsernes Haarröhrchen in Wasser tauchen und als Object benntzen, damit die zarten organischen Röhrchen und Fasern nachahmend, die anch nnter Wasser wahrgenommen werden, deren Sichtbarkeitsgrenze aber natürlich nicht so weit geht, als jene ganz undurchsichtiger Objecte u. s. w.

Es gestattet diese Methode zahllose Modificationen und ihre Anwendbarkeit ist demnach eine sehr ausgedehnte. Unter Beachtnng der nöthigen Vorsichtsmaassregeln liefert sie auch sichere und vergleichbare Resnltate. Nur muss dabei, nnd das ist sehr wichtig, auf die Art der Belenchtung geachtet werden. Es ist nämlich klar, dass auf einem ganz weissen Hintergrunde kleinere undurchsichtige, d. h. bei auffallendem Lichte schwarz erscheinende Objecte oder Bilder, oder zwei parallele Drähte, wie etwa zwei geschwärzte Nähnadeln, die auf einer

Digitized by Google

Glasplatte neben einander befestigt sind, wegen des Gegensatzes länger sichtbar bleiben können, als wenn der Hintergrund graulich oder lichtblau ist. Es ist deshalb nicht gleichgültig, ob der Spiegel sein Licht von einem weiss bewölkten, einem dunkel überzogenen oder einem hellen blauen Himmel empfängt. Künstliches Licht ist bei diesen Bestimmungen nicht anzuwenden, weil das Bild der Flamme in gleicher Weise, wie jenes des Objectes, verkleinert wird, damit also niemals ein erleuchtetes Gesichtsfeld zu bekommen ist. Die Beobachtungen müssen demnach bei Tageslicht angestellt werden, und will man vergleichbare Resultate gewinnen, dann muss der Spiegel immer nach dem blauen Himmel gerichtet sein, weil dies die einzige charakteristische Beleuchtung ist, die von Anderen genau in gleicher Weise bei den Beobachtungen benutzt werden kann. Wo es aber darauf ankommt, die äussersten Sichtbarkeitsgrenzen bei einer mehr geeigneten Beleuchtung zu bestimmen, da können auch besondere Beobachtungen zu dem Ende angestellt werden. Man wird übrigens finden, dass zu diesen Bestimmungen, selbst wenn bedeutende Vergrösserungen in Anwendung kommen, ein flacher Spiegel vollständig ausreicht, da in dem durch die Luftblase erzeugten Bilde des Gesichtsfeldes alle Strahlen zusammengedrängt sind, welche vom Spiegel ausgehen, dasselbe also eine ausreichende Lichtstärke besitzt.

244 Um die Anwendbarkeit dieser Methode durch ein Beispiel deutlicher zu machen, theile ich hier die Resultate mit, zu denen ich schon vor vielen Jahren durch ein Amici'sches Mikroskop vom Jahre 1835 kam. Ist auch dieses Instrument, wenn man die Zeit seiner Anfertigung berücksichtigt, ein ganz vortreffliches, so wird es doch von solchen übertroffen, die späterhin, auch von Amici selbst, angefertigt worden sind, wie im historischen Theile dieses Werkes nachgewiesen werden soll. Ich hebe dies ausdrücklich hervor, damit man nicht aus den mitzutheilenden Resultaten auf die Grenzen des optischen Vermögens unserer gegenwärtigen Mikroskope einen Schluss ziehe; denn diese liegen jetzt bedeutend weiter. Die Folgerungen, die sich daraus ziehen lassen, bleiben aber der Hauptsache nach unverändert, wenn auch die Zahlen sich modificiren.

Es gehören zu diesem Mikroskope zehn achromatische Doppellinsen, welche sich auf verschiedene Art combiniren lassen. Vier von diesen Combinationen sind zur Untersuchung benutzt worden. Nach der im §. 115 angegebenen Methode ergaben sich folgende Brennweiten dieser Systeme oder richtiger ihrer äquivalenten Linsen:

Nr. 1. 28,00mm
„ 2. 8,86
„ 3. 6,89
„ 4. 3,87

Sodann gehören fünf Oculare dazu, von denen ich jedoch das am stärksten vergrössernde aus Gründen nicht benutzte und mit einem Oculare aus einem Dollond'schen Mikroskope vertauschte, welches schwächer als irgend eines der Amici'schen Oculare ist. Dieses Dollond'sche Ocular wird mit Nr. 1 bezeichnet, und darauf folgen die Nummern der Amici'schen Oculare nach ihrer Vergrösserung.

Für negative Gesichtseindrücke wurde immer das Licht benutzt, welches von einer möglichst gleichförmigen dünnen weiss bewölkten Luft ausstrahlt. Wie wichtig für genaue und vergleichbare Resultate eine stets gleichbleibende Beleuchtung ist, das wird sich weiterhin herausstellen. Ich muss aber ausdrücklich bemerken, dass zwar mit Sorgfalt eine Gleichförmigkeit der Beleuchtung erstrebt wurde, diese aber wegen Unbeständigkeit des Himmels nur ungemein schwer zu erlangen ist, und diesem Umstande schreibe ich daher auch grossentheils die Unregelmässigkeiten zu, die sich trotz aller möglichen Vorsicht in den erhaltenen Resultaten dennoch kund geben.

Negative Gesichtseindrücke.

Linsen-system.	Ocu-lar.	Vergrösse-rung.	Durchmesser des kleinsten noch sichtbaren Bildes: Runde Objecte.	Durchmesser des kleinsten noch sichtbaren Bildes: Drahtförmige Objecte.
Nr. 1	Nr. 1	50	2,415 Mmm = $^1/_{414}$ mm	0,194 Mmm = $^1/_{5150}$ mm
„	2	90	1,640 = $^1/_{610}$	
„	3	117	1,440 = $^1/_{694}$	
Nr. 2	1	154	0,492 = $^1/_{2040}$	0,049 Mmm = $^1/_{20500}$
„	2	277	0,421 = $^1/_{2380}$	
„	3	362	0,400 = $^1/_{2500}$	
Nr. 3	1	206	0,352 = $^1/_{2840}$	0,036 Mmm = $^1/_{27800}$
„	2	371	0,347 = $^1/_{2880}$	
„	3	484	0,332 = $^1/_{3010}$	
„	4	608	0,480 = $^1/_{2016}$	
Nr. 4	1	374	0,246 = $^1/_{4070}$	0,027 Mmm = $^1/_{37000}$
„	2	675	0,261 = $^1/_{3830}$	
„	3	877	0,249 = $^1/_{4010}$	
„	4	1122	0,356 = $^1/_{2800}$	0,063 Mmm = $^1/_{16000}$
„	5	1830	0,333 = $^1/_{3000}$	0,059 Mmm = $^1/_{17000}$

Schon eine oberflächliche Betrachtung dieser Resultate zeigt, dass das eigentliche optische Vermögen eines Mikroskopes fast nur in den

Digitized by Google

Objectivsystemen liegt, und dass eine stärkere Vergrösserung durch Oculare dieses Vermögen nur wenig oder gar nicht steigert. Es ergiebt sich aber auch zugleich, dass stärkere Oculare bei den schwächeren Objectivsystemen zwar noch einige Vortheile bringen, dass aber bei den stärksten Objectivsystemen das optische Vermögen schon mit dem schwächsten Oculare und einer 374maligen Vergrösserung den Höhepunkt erreicht hat. Nimmt die Vergrösserung durch Anwendung stärkerer Oculare zu, so gewinnt man nicht allein nichts, sondern es tritt sogar eine Abnahme in der Sichtbarkeit der Objecte ein.

Demnach ist diese Tabelle der beste Beweis für die schon mehrmals wiederholte Bemerkung, dass das optische Vermögen eines Mikroskopes nicht gleichbedeutend ist mit dessen Vergrösserungskraft, vielmehr das erstere von der letzten fast ganz unabhängig ist.

Vergleicht man ferner die Resultate, welche sich für runde und für längliche Objecte herausstellen, so ergiebt sich für deren Sichtbarkeit ziemlich das nämliche Verhältniss, wie bei der Beobachtung mit blossem Auge, nämlich ungefähr ein Verhältniss wie 1 : 10.

245 Da die Wahrnehmbarkeit positiver Gesichtseindrücke, wie weiter oben nachgewiesen wurde, grossentheils nur von der Intensität des Lichtes, welches von den Objectiven ausstrahlt, abhängig ist, so haben auch Bestimmungen über die Grenzen ihrer Sichtbarkeit, insoweit die Grösse der Objecte dabei in Betracht kommt, einen geringeren Werth. Ich will indessen doch folgende Beobachtungen anführen, die bei dunkelem Himmel und regnerischem Wetter angestellt wurden.

Positive Gesichtseindrücke.

Linsen-system.	Ocular.	Vergrösserung.	Durchmesser des sichtbaren Bildes:	
			Runde Oeffnung.	Spalt.
Nr. 1	Nr. 1	50	0,502 Mmm = $^1/_{1994}$ mm	0,0532 Mmm = $^1/_{18800}$ mm
„ 2	„	154	0,150 = $^1/_{6666}$	0,0177 = $^1/_{56500}$
„ 3	„	206	0,103 = $^1/_{9710}$	
„ 4	„	374	0,098 = $^1/_{10160}$	

Obwohl der ungünstigen Umstände halber nur ein sehr schwaches Licht durch die Oeffnung drang, waren doch die positiven Gesichtseindrücke weit feiner und schärfer wahrnehmbar, als die negativen, ganz

Digitized by Google

gleich wie beim Sehen mit blossem Auge. Dass in diesen Zahlen noch lange nicht die äussersten Grenzen der Sichtbarkeit ausgedrückt sind, folgt aus den mit blossem Auge angestellten Beobachtungen, welche erwiesen, dass eine Oeffnung, durch welche Sonnenlicht fällt, 11 Male kleiner sein kann, als jene, welche bei dunkel bewölktem Himmel beobachtet wird. Verhält sich, wie es doch wahrscheinlich ist, die Sache bei mikroskopischer Beobachtung ähnlich, so würde unter Benutzung einer 374maligen Vergrösserung und durchfallenden Sonnenlichts eine runde Oeffnung noch sichtbar sein, auch wenn sie weniger als $^{1}/_{110000}{}^{\mathrm{mm}}$ misst.

Ich habe es wirklich nicht vermocht, positive Lichtbildchen von solcher Kleinheit zu erzeugen, dass die Sichtbarkeitsgrenzen bei durchfallendem Sonnenlichte erreicht worden wären, und das ist auch der Grund, warum in der letzten Columne die Sichtbarkeitsgrenzen einer Spalte bei schwachem durchfallenden Lichte bei den beiden stärkeren Vergrösserungen nicht ausgefüllt worden sind. Die Vergleichung mit den Zahlen der vorigen Columne lehrt jedoch, dass eine Spalte 8 bis 9 Male leichter sichtbar ist, als eine runde Oeffnung, weshalb man dann annehmen darf, bei 374maliger Vergrösserung werde eine $^{1}/_{80000}{}^{\mathrm{mm}}$ messende Spalte bei dem schwachen benutzten Lichte noch sichtbar sein. Angenommen dann, dass bei durchfallendem Sonnenlichte die Wahrnehmbarkeit um das 11fache wächst, so würde eine Spalte, die weniger als $^{1}/_{880000}{}^{\mathrm{mm}}$ misst, noch sichtbar sein können.

Um die Unterscheidbarkeit der Gesichtseindrücke durchs 246
Mikroskop zu bestimmen, habe ich mich der nämlichen Objecte wie bei der Prüfung mit blossem Auge bedient, nämlich eines Drahtgeflechts und zweier runder Oeffnungen in einem geschwärzten Plättchen. Wie bei den früheren Versuchen, wurde das Licht eines bewölkten Himmels benutzt. Die erhaltenen Resultate sind in den beiden nächstfolgenden Tabellen niedergelegt.

Digitized by Google

a. Unterscheidbarkeit der Maschen eines Drahtgeflechts.

Linsen-system.	Ocu-lar.	Vergrösse-rung.	Durchmesser der Bilder eben noch unterscheidbarer	
			Drähte.	Interstitien.
Nr. 1	Nr. 1	50	0,970 Mmm = $^1/_{1030}$ mm	1,532 Mmm = $^1/_{653}$ mm
„	2	90	0,921 = $^1/_{1087}$	1,455 = $^1/_{687}$
„	3	117	0,918 = $^1/_{1090}$	1,450 = $^1/_{690}$
Nr. 2	1	154	0,349 = $^1/_{2870}$	0,551 = $^1/_{1816}$
„	2	277	0,329 = $^1/_{3040}$	0,520 = $^1/_{1920}$
„	3	362	0,336 = $^1/_{2980}$	0,531 = $^1/_{1882}$
Nr. 3	1	206	0,293 = $^1/_{3410}$	0,463 = $^1/_{2160}$
„	2	371	0,288 = $^1/_{3440}$	0,455 = $^1/_{2200}$
„	3	484	0,301 = $^1/_{3320}$	0,476 = $^1/_{2100}$
Nr. 4	1	374	0,257 = $^1/_{3890}$	0,414 = $^1/_{2415}$
„	2	675	0,274 = $^1/_{3650}$	0,433 = $^1/_{2310}$
„	3	877	0,267 = $^1/_{3750}$	0,422 = $^1/_{2370}$

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass von den Sichtbarkeitsgrenzen wie von den Unterscheidungsgrenzen das Gleiche gilt: eine vermehrte Vergrösserung, welche durchs Ocular herbeigeführt wird, bringt nur geringe Vortheile.

Bessere Dienste scheinen stärkere Oculare für die Unterscheidung zweier positiver Gesichtseindrücke zu leisten, wie aus folgender Tabelle zu entnehmen ist,

h. Unterscheidbarkeit zweier runder Oeffnungen.

Linsen-system.	Ocu-lar.	Vergrösse-rung.	Durchmesser der Bilder eben noch unterscheidbarer	
			Oeffnungen.	Interstitien.
Nr. 1	Nr. 1	50	1,175 Mmm = 1/852 mm	2,350 Mmm = 1/426 mm
„	2	90	0,895 = 1/1118	1,790 = 1/559
„	3	117	0,835 = 1/1196	1,670 = 1/598
Nr. 2	1	154	0,344 = 1/2900	0,688 = 1/1450
„	2	277	0,319 = 1/3136	0,638 = 1/1568
„	3	362	0,294 = 1/3400	0,588 = 1/1698
Nr. 3	1	206	0,301 = 1/3326	0,601 = 1/1663
„	2	371	0,298 = 1/3350	0,597 = 1/1675
„	3	484	0,293 = 1/3418	0,585 = 1/1709
Nr. 4	1	374	0,310 = 1/3210	0,620 = 1/1610
„	2	675	0,294 = 1/3410	0,587 = 1/1705
„	3	877	0,292 = 1/3430	0,583 = 1/1715

Es kommen in den vorstehenden Tabellen verschiedene Unregelmässigkeiten zum Vorschein, die ihren Grund darin haben, dass die unbedeutendste Veränderung des durchfallenden Lichtes von grossem Einflusse sein muss. Gerade deshalb sind sie aber zu unsicher, um einen bestimmten Schluss zu erlauben. Nur soviel ist klar, dass wie beim Sehen mit blossem Auge, so auch beim mikroskopischen Beobachten zwei positive Gesichtseindrücke schwerer zu unterscheiden sind, als wenn viele positive und negative Gesichtseindrücke mit einander wechseln. Weiterhin wird es sich aber herausstellen, dass die mikroskopische Beobachtung einigermaassen im Vortheile ist.

Endlich kommt auch noch die Erkennbarkeit der Form der 247
Körper durch das Mikroskop in Betracht. In der folgenden Tabelle sind die dafür gefundenen Grenzen zusammengestellt.

Erkennbarkeit eines Vierecks.

Linsen-system.	Ocular.	Vergrösse-rung.	Durchmesser des noch als Viereck erkennbaren Bildes.	Verhältniss zwischen Sichtbarkeit und Erkennbarkeit der Formen.
Nr. 1	Nr. 1	50	7,000 Mmm = $^1/_{145}$ mm	1 : 2,89
"	2	90	4,648 = $^1/_{217}$	1 : 3,23
"	3	117	4,163 = $^1/_{240}$	1 : 2,54
Nr. 2	1	154	1,870 = $^1/_{535}$	1 : 3,80
"	2	277	1,352 = $^1/_{732}$	1 : 3,21
"	3	362	1,280 = $^1/_{780}$	1 : 3,20
Nr. 3	1	206	1,520 = $^1/_{658}$	1 : 4,32
"	2	371	1,053 = $^1/_{950}$	1 : 3,03
"	3	484	0,909 = $^1/_{1100}$	1 : 2,74
"	4	608	0,895 = $^1/_{1115}$	1 : 1,87
Nr. 4	1	374	0,981 = $^1/_{1020}$	1 : 4,00
"	2	675	0,800 = $^1/_{1250}$	1 : 3,06
"	3	877	0,765 = $^1/_{1310}$	1 : 3,07
"	4	1122	0,728 = $^1/_{1370}$	1 : 2,05
"	5	1830	0,750 = $^1/_{1330}$	1 : 2,28

Es lehren diese Zahlen, dass die Erkennbarkeit der Form nicht ganz den nämlichen Regeln folgt, wie die blosse Sichtbarkeit der Objecte. Die Grenzen der letzteren werden wenig oder gar nicht erweitert, wenn man die Vergrösserung durch Oculare steigert, offenbar aber ist eine derartige Vergrösserung vortheilhaft, wenn es auf Formerkennung ankommt. Daher rühren die grossen Verschiedenheiten zwischen den Verhältnisszahlen in der letzten Columne, wobei man übrigens bis auf wenige Ausnahmen bemerkt, dass die Grenzen der Formerkennung den Sichtbarkeitsgrenzen um so näher kommen, je stärker das benutzte Ocular ist. Dass aber auch hier eine bestimmte Grenze vorhanden ist, welche nicht gut überschritten werden darf, ergiebt sich daraus, dass bei einer 1830maligen Vergrösserung (Ocular Nr. 5) das Bild, dessen Form noch erkennbar war, grösser sein musste, als bei einer 1120maligen (Ocular Nr. 4). Die letztgenannte Vergrösserung ist demnach die stärkste, die bei jenem zur Untersuchung benutzten Mikroskope unter Umständen noch verwendet werden dürfte, während man in der Mehrzahl der Fälle da, wo

es blos aufs Sehen und Unterscheiden ankommt, mit weit schwächeren Vergrösserungen auskommen kann.

Im Vorhergehenden ist alles aufgeführt, was nöthig ist, um das 248
eigentliche optische Vermögen eines Mikroskopes mit jenem des blossen Auges in Vergleichung zu setzen. Es versteht sich aber von selbst, dass man bei dieser Vergleichung von der nämlichen gemeinschaftlichen mittleren Sehweite ausgehen muss, für welche die Vergrösserungen berechnet sind, d. h. von 25 Centimeter. Unter den Gruppen von Beobachtungen, die mit blossem Auge angestellt wurden und §. 93 u. folgd. mitgetheilt worden sind, findet sich immer eine, die bei jener Entfernung ausgeführt worden ist, und diese ist den in der folgenden Tabelle zusammengestellten Berechnungen zu Grunde gelegt worden.

Digitized by Google

Verstärkung des optischen Vermögens durch ein Amici'sches Mikroskop vom Jahre 1835, für eine Sehweite von 25 Centimeter.

Linsensystem.	Ocular.	Vergrösserung.	Sichtbarkeit. Negative Gesichtseindrücke. Runde undurchsichtige Objecte. Wirkliche Verstärkung.	Verlust.	Lange fadenförmige Objecte. Wirkliche Verstärkung.	Verlust.	Positive Gesichtseindrücke. Runde Oeffnungen bei schwachem durchfallendem Lichte. Wirkliche Verstärkung.	Verlust.	Unterscheidbarkeit. Drahtgeflecht mit viereckigen Maschen. Wirkliche Verstärkung.	Verlust.	Zwei runde Oeffnungen bei durchfallendem Lichte. Wirkliche Verstärkung.	Differenz.	Erkennung der Form. Wirkliche Verstärkung.	Verlust.
Nr. 1	Nr. 1	50	20,9	0,58	24,2	0,52	23,7	0,53	39,5	0,20	63,5	0,27 Gew.	38,0	0,24
„	2	90	30,8	0,66	—	—	—	—	41,6	0,54	83,3	0,08 Verl.	57,6	0,36
„	3	117	35,1	0,70	—	—	—	—	41,7	0,65	89,3	0,24 Verl.	63,7	0,40
Nr. 2	1	154	102,9	0,33	98,0	0,36	80,0	0,48	109,7	0,28	216,8	0,40 Gew.	142,3	0,07
„	2	277	119,3	0,57	—	—	—	—	116,4	0,58	233,9	0,15 Verl.	196,7	0,29
„	3	362	125,2	0,66	—	—	—	—	114,0	0,68	253,7	0,30 Verl.	207,8	0,43
Nr. 3	1	206	144,3	0,30	133,3	0,35	115,5	0,40	130,8	0,31	247,8	0,20 Gew.	175,0	0,15
„	2	371	145,5	0,60	—	—	—	—	133,0	0,64	250,3	0,33 Verl.	253,7	0,32
„	3	484	152,7	0,70	—	—	—	—	127,2	0,74	254,6	0,48 Verl.	292,6	0,40
„	4	608	105,2	0,83	—	—	—	—	—	—	—	—	297,2	0,51
Nr. 4	1	374	205,3	0,45	177,8	0,53	132,2	0,65	149,0	0,60	240,7	0,35 Verl.	271,2	0,28
„	2	675	193,3	0,70	—	—	—	—	139,8	0,79	253,7	0,63 Verl.	332,5	0,50
„	3	877	202,8	0,77	—	—	—	—	143,4	0,84	255,0	0,71 Verl.	347,6	0,60
„	4	1122	141,8	0,87	76,2	0,93	—	—	—	—	—	—	365,4	0,67
„	5	1830	151,3	0,92	81,4	0,96	—	—	—	—	—	—	354,7	0,81

Diese Tabelle ist in folgender Weise zusammengestellt worden. Die Ziffer der wirklichen Verstärkung des optischen Vermögens wurde erhalten, indem der Durchmesser des bei einer bestimmten Vergrösserung noch sichtbaren Bildes mit dem Durchmesser jenes Bildes, welches in der genannten Entfernung noch mit blossem Auge sichtbar ist, dividirt wird. Die Ziffer des Verlustes oder, was auch ein Paar Mal vorkommt, die Ziffer des Gewinnes bezeichnet nichts anderes, als das Verhältniss zwischen der wirklichen Verstärkung und der benutzten Vergrösserung: sie wird dadurch erhalten, dass man den Verstärkungswerth vom Vergrösserungswerthe (oder umgekehrt) abzieht, und den Rest, welcher den absoluten Gewinn oder Verlust ausdrückt, mit der Vergrösserungsziffer dividirt, um den relativen Werth zu bekommen.

Der Deutlichkeit wegen füge ich als Beispiel die Berechnung der ersten Zahlen in der Tafel bei. Das kleinste runde in 25 Centimeter Entfernung noch sichtbare Object hat einen Durchmesser von 50,5 Mmm. Bei einer 50maligen Vergrösserung kann man noch ein solches Körperchen von 2,415 Mmm sehen. Die wirkliche Verstärkung des optischen Vermögens ist daher $= \frac{50,5}{2,415} = 20,9$, und der relative Verlust der Vergrösserungsziffer ist $= \frac{50 - 20,9}{50} = 0,58$.

Aus den Columnen der Tabelle ersieht man, dass, mit nur einer einzigen Ausnahme, beim mikroskopischen Sehen im Vergleich zum Sehen mit blossem Auge immer ein mehr oder weniger grosser Verlust stattfindet. Dies ist ein Beweis dafür, dass das Mikroskop von der optischen Vollkommenheit des Auges noch weit entfernt ist. Man ersieht ferner aus den Zahlen, dass die gleichen Combinationen von Objectiven und Ocularen unter verschiedenen Umständen das optische Vermögen des Auges durchaus nicht immer in gleichem Grade verstärken, so dass man etwa, wenn die Sichtbarkeit negativer Gesichtseindrücke ermittelt worden ist, daraus auch auf die Sichtbarkeit in den übrigen Fällen schliessen dürfte. Im Gegentheil tritt es aus den Columnen deutlich hervor, dass die Sichtbarkeit, die Unterscheidbarkeit und die Erkennung der Form, die man beim optischen Vermögen unterscheiden kann, durchaus nicht gleichen Schritt halten. Besteht ja doch sogar ein ganz deutlicher Unterschied zwischen der Verstärkung der Unterscheidbarkeit, je nachdem es sich um die Maschen eines Drahtgeflechtes oder um zwei runde Oeffnungen handelt.

Zum Theil rühren diese Verschiedenheiten von der Art des benutzten Instrumentes her. Wenn es sich blos um Sichtbarkeit handelte, so würden die Objectivsysteme die Reihe 3, 2, 1, 4 bilden müssen: bei Nr. 3 findet der geringste Verlust statt, bei Nr. 4 der stärkste. Ordnen wir



sie dagegen nach ihrem Antheile an der Unterscheidbarkeit, dann ist die Reihenfolge 1, 2, 3, 4. Dieser Unterschied stimmt wesentlich mit dem, was §. 224 u. folgd. vom unterscheidenden und begrenzenden Vermögen angeführt worden ist, die auch nicht nothwendig gleichen Schritt zu halten brauchen. Die blosse Sichtbarkeit der Objecte hängt vom letzteren ab, ihre Unterscheidbarkeit vom ersteren. Von den benutzten Objectivsystemen hat demnach Nr. 3 das stärkste unterscheidende, Nr. 1 das stärkste begrenzende Vermögen.

Die durchgreifenden Verschiedenheiten indessen, die in ganzen Columnen hervortreten, lassen sich nicht auf Rechnung des Instrumentes bringen, sie rühren vielmehr von allgemeinen Ursachen her, die auch bei anderen Instrument n vorkommen. Ich sehe von kleineren Verschiedenheiten ab, in deren Betreff es dahingestellt bleibt, ob die bei solchen Beobachtungen unvermeidlichen Fehler darauf von Einfluss waren, und halte mich im Besondern an die Unterscheidbarkeit zweier runder Oeffnungen in einem sonst dunkeln Gesichtsfelde. Hier begegnen wir der auf den ersten Blick auffallenden Erscheinung, dass mehrmals, namentlich wenn die drei schwächsten Objectivsysteme mit dem schwächsten Oculare combinirt sind, gar kein Verlust eintritt, sondern sogar ein Ueberschuss über die Vergrösserungsziffer. Die Sache erklärt sich aber einfach und reiht sich an die den Astronomen wohlbekannte Thatsache an, dass Sterne durchs Teleskop betrachtet weit weniger irradiiren, als wenn sie mit blossem Auge betrachtet werden. Auch wurde schon durch Plateau (*Poggendorff's Annal.* Ergänz. Bd. I, S. 433) dargethan, dass die Irradiation durch Vergrösserungsgläser im Allgemeinen abnimmt. Da nun zwei solche Oeffnungen um so leichter sich unterscheiden lassen, je grösser das Interstitium zwischen ihren Netzhautbildern ist, auf welches kein Lichteindruck fällt, so ist es klar, dass nur dieser durchs Mikroskop bewirkten Abnahme der Irradiation jenes vortheilhafte Verhältniss zugeschrieben werden darf. Allein ungeachtet dieses günstigen Verhältnisses hält es doch immer schwerer, zwei positive Gesichtseindrücke zu unterscheiden, als wenn positive und negative Gesichtseindrücke, die in Ausdehnung wenig von einander differiren, mit einander abwechseln *).

---

*) Naegeli und Schwendener (*Das Mikroskop.* I, S. 129) haben ebenfalls die Maschen eines Drahtgeflechtes zur Prüfung des Unterscheidungsvermögens verschiedener Mikroskope benutzt, und aus ihren Resultaten sowohl als auch aus den durch mich gewonnenen ziehen sie den Schluss, dass bei Benutzung der schwächsten Objectivsysteme mancher Optiker das Unterscheidungsvermögen eines Mikroskopes grösser sein kann als jenes des blossen Auges. Ich dagegen finde, dass in diesem Falle immer ein nicht unerheblicher Verlust stattfindet, und die nämliche Folgerung ergiebt sich auch aus ähnlichen im dritten Bande mitzutheilenden Beobachtungen mit anderen Mikroskopen. Der Grund dieser abweichenden Ansichten liegt darin, dass die genannten Autoren (S. 128) bei 25 Centimeter Deutlichkeitsabstand Maschen von 125 bis zu 160 Mikromillimeter unterschieden, während ich bei demselben Abstande noch mit blossem Auge Maschen von nicht mehr denn

Suchen wir für die kleinsten durchs Mikroskop noch wahrnehmbaren Interstitien die entsprechenden Gesichtswinkel, so erhalten wir folgende Werthe:

Für den dunkeln Raum in einem Systeme mit einander wechselnder Drähte und Interstitien	0,2″
Für ein helles Interstitium in einem solchen Systeme . . .	0,3″
Für das dunkle Interstitium zwischen zwei Lichtbildern . .	0,4″

Struve fand, dass mittelst des Refractors in Dorpat bei einer 1000maligen Vergrösserung und unter begünstigenden Umständen ein Doppelstern als solcher noch erkannt werden kann, dessen Sterne 0,3″ von einander abstehen. Man ersieht hieraus, dass die Grenzen des Unterscheidungsvermögens in diesen beiden einander nahe verwandten Instrumenten einander ziemlich gleich sind.

Die bisherigen Angaben beziehen sich nur auf die Grenzen des optischen Vermögens für ein einzelnes unter bestimmten günstigen Umständen geprüftes Mikroskop. Die oben erwähnten Beobachtungen wurden insgesammt an solchen Objecten angestellt, die entweder selbst als leuchtende betrachtet werden können oder aber ganz undurchsichtig sind, und im letzteren Falle wurde stets eine Beleuchtung angewendet, die erfahrungsmässig am meisten sich dazu eignet, negative Gesichtseindrücke wahrnehmbar zu machen. Man darf aber daraus noch nicht im Allgemeinen einen Schluss ziehen auf die Grenzen der Sichtbarkeit mikroskopischer Objecte, da ja die meisten Objecte der Art durchaus nicht undurchsichtig sind, sondern im Gegentheil sehr durchscheinend; so geschieht es denn, dass nur ein Theil ihres Bildes auf der Netzhaut einen negativen Gesichtseindruck macht, und ein anderer Theil gar nicht wahrgenommen wird, weil der entsprechende Theil des Objectes die Strahlen unverändert durchgehen lässt. In §§. 96 und 97 ist nachgewiesen worden, dass die verhältnissmässige Grösse dieses sichtbaren und unsichtbaren Theils von zweierlei abhängig ist, einmal nämlich von der Form des Objectes und zweitens von der Verschiedenheit zwischen seinem Brechungsvermögen und jenem des umgebenden Mediums. Es wird nicht unpassend sein, wenn dies hier durch ein Paar Beobachtungen erläutert wird, aus denen zugleich entnommen werden mag, welche kleinste organische Körper noch durchs Mikroskop erkannt werden können. Ich habe dazu am liebsten gewöhnliches Glas genommen, weil dessen Brechungsindex nicht viel höher steht, als bei den meisten organischen Geweben, was daraus folgt, dass die meisten getrockneten thieri- 249

61 Mikromillimeter unterschieden habe. Die Ausgangspunkte der Rechnung sind mithin in beiden Fällen verschieden.

Digitized by Google

schen und pflanzlichen Gewebe in Canadabalsam fast ganz unsichtbar werden; dessen Brechungsindex aber ist 1,532, und ungefähr den gleichen haben auch die meist gebräuchlichen Glassorten.

Dass unter den organischen Substanzen in dieser Beziehung noch manche Verschiedenheit vorkommt, versteht sich von selbst. Soviel steht indessen jedenfalls fest: wenn das Bild eines glasigen Objectes von bestimmter Gestalt, welches zugleich in besonderen Verhältnissen sich befindet, nicht mehr sichtbar ist, so wird dies noch mehr oder noch eher bei einem durchsichtigen organischen Körper vorkommen, der gleiche Grösse und Form hat und sich in den nämlichen Verhältnissen befindet.

Um die Zahlen nicht nutzlos zu häufen, führe ich blos die Beobachtungen mit den Objectivsystemen Nr. 2 und 4 und mit dem Oculare Nr. 1 an. Durch die letztangeführte Combination hat, wie wir sahen, das optische Vermögen, so weit es sich nämlich um die Sichtbarkeit handelt, den Höhepunkt erreicht.

Folgende Objecte wurden benutzt:

a. Ein Glaskügelchen.

b. Ein rundes hohles Glaskügelchen, mit einer Oeffnung versehen, um Flüssigkeit eindringen zu lassen; die Dicke der Glaswand betrug $^1/_{11}$ des gesammten Durchmessers.

c. Ein nicht hohler Glasfaden.

d. Ein gläsernes Haarröhrchen, auf dessen Wandung $^1/_9$ der gesammten Dicke kam.

e. Ein viereckiges gläsernes Täfelchen, dessen Durchmesser die Dicke 15,7 Male übertraf.

f. Ein viereckiges Glimmerblättchen, welches wegen einiger Risse und Flecken weniger durchscheinend war als e, dessen Breite aber die Dicke 57 Male übertraf.

Objecte.	Vergrösserung.	Durchmesser der kleinsten sichtbaren Bildchen in	
		Luft.	Wasser.
a. Glaskügelchen . . .	154	0,554 Mmm = $^1/_{1805}$ mm	0,658 Mmm = $^1/_{1520}$ mm
Desgl.	374	0,289 = $^1/_{3500}$	0,436 = $^1/_{2300}$
b. Hohles Glaskügelchen	154	1,123 = $^1/_{890}$	1,321 = $^1/_{757}$
Desgl.	374	0,525 = $^1/_{1900}$	0,878 = $^1/_{1140}$
c. Glasfaden	154	0,102 = $^1/_{9800}$	0,168 = $^1/_{5950}$
Desgl.	374	0,052 = $^1/_{19300}$	0,097 = $^1/_{10200}$
d. Glasröhrchen	154	0,205 = $^1/_{4900}$	0,352 = $^1/_{2840}$
Desgl.	374	0,149 = $^1/_{7600}$	0,259 = $^1/_{3800}$
e. Glastäfelchen	154	3,000 = $^1/_{333}$	4,072 = $^1/_{233}$
Desgl.	374	2,144 = $^1/_{466}$	2,970 = $^1/_{337}$
f. Glimmerblättchen . .	154	1,820 = $^1/_{550}$	2,263 = $^1/_{442}$
Desgl.	374	0,988 = $^1/_{1010}$	1,412 = $^1/_{708}$

Um die Sichtbarkeit durchsichtiger Objecte mit jener undurchsichtiger Objecte bequemer in Vergleichung bringen zu können, setze ich hier den Durchmesser der kleinsten sichtbaren Bildchen der letzteren nach der Tabelle im §. 244 her:

Runde Objecte bei	154facher Vergrösserung	0,492 Mmm	= $^1/_{2040}$ mm
" "	" 374 " "	0 246	= $^1/_{4070}$
Lange "	" 154 " "	0,049	= $^1/_{20500}$
" "	" 374 " "	0,027	= $^1/_{37000}$

Aus diesen Beobachtungen lassen sich verschiedene nicht unwichtige Folgerungen ziehen:

1) Wird ein vollkommen durchsichtiges kugeliges Körperchen, das nicht hohl ist, in Luft betrachtet, so steht es einem ganz undurchsichtigen nur wenig an Sichtbarkeit nach. Selbst unter Wasser sind sehr kleine Körperchen der Art noch sichtbar. Hieraus dürfen wir schliessen, dass z. B. Fettkügelchen von $^1/_{2000}$ mm Durchmesser unterm Mikroskope noch sichtbar sein können. Der Verlust an Sichtbarkeit im Vergleich zu einem ganz undurchsichtigen Körper beträgt hier weniger als 0,5.

2) Sobald das runde Körperchen hohl ist, verliert es viel an Sichtbarkeit. Eine von Wasser umgebene organische Zelle, deren Wand im Verhältniss zum Durchmesser gleich dick wäre, als das hier benutzte hohle Glaskügelchen (b), würde, den nämlichen Brechungsindex voraus-

gesetzt, nicht mehr sichtbar sein, sobald sein Durchmesser unter $^1/_{1140}$ mm fiele. Wäre diese Zelle ein ganz undurchsichtiges Körperchen, dann könnte sie etwa 3,6 Male kleiner werden, bevor sie unsichtbar würde.

3) Bei fadenförmigen durchsichtigen Körpern ist der Verlust an Sichtbarkeit bemerklicher als bei runden. Aus den für c erhaltenen Resultaten darf man schliessen, dass eine organische Faser von noch nicht $^1/_{10200}$ mm Dicke unter Wasser nicht mehr zu erkennen ist, also dann, wenn sie noch 3,7 Male dicker ist, als ein die Grenzen der Sichtbarkeit erreichender undurchsichtiger draht- oder fadenförmiger Körper.

4) Nach den für d erhaltenen Resultaten würde ein organisches Röhrchen in Wasser bereits bei einem Durchmesser von $^1/_{3800}$ mm unsichtbar werden, also bei einer 10 Mal grösseren Dicke als jene, bei welcher ein undurchsichtiger Faden die Sichtbarkeit verliert; es müsste denn die relative Dicke der Röhrchenwand grösser sein, als bei dem benutzten Glasröhrchen.

5) In einem noch bedeutendern Maasse nimmt die Sichtbarkeit tafelförmiger durchscheinender Körperchen ab, wie es sich für e herausstellte. Vorausgesetzt, runde und viereckige Körper haben die nämlichen Sichtbarkeitsgrenzen, dann muss z. B. ein durchsichtiges Krystallplättchen, bei dem Dicke und Breite in dem angegebenen Verhältniss von 1 : 15,7 stehen, wenn es in Wasser liegt und noch gesehen werden soll, 12 Male grösser sein, als ein undurchsichtiges in Wasser liegendes Plättchen. Daher kommt es auch, dass die meisten Krystalle in dem Momente, wo sie sichtbar werden, bereits ziemlich gross sind, so dass man ihre Form fast in dem nämlichen Augenblicke erkennt, wo sie sichtbar werden. (Vergl. meinen Aufsatz in der *Tydschr. v. Nat. Gesch. en Phys.* 1843: *Ueber Entstehung, ursprüngliche Form und nachfolgende Veränderungen der präcipitirten organischen und anorganischen Substanzen, im Besonderen über die Erscheinungen bei der Krystallbildung.*) Gehören die Krystalle zu jenen, welche beim ersten Erscheinen plattenförmig sind, dann können diese Plättchen freilich sehr dünn sein. Das noch erkennbare Bildchen des Glasplättchens unter Wasser hat bei 374maliger Vergrösserung nur eine Dicke von $^1/_{5300}$ mm und in der Luft nur von $^1/_{7400}$ mm.

6) Ein organisches Häutchen ist im Allgemeinen nicht so vollkommen durchscheinend, als ein Glas- oder Krystallplättchen; seine Wahrnehmbarkeit wird durch kleine anhängende Molekeln, durch Unebenheiten, durch Falten u. s. w. befördert. Damit correspondiren einigermaassen die unter f verzeichneten Resultate. Das Glimmerblättchen war 3,6 Mal dünner als das Glastäfelchen e; aber wegen seiner unvollkommenen Durchsichtigkeit waren noch Bilderchen davon wahrnehmbar, die reichlich 2 Mal kleiner waren als die kleinsten Bilder des Glastäfelchens. Dabei war die Dicke 7,7 Mal geringer; sie betrug $^1/_{40400}$ mm bei

dem in Wasser befindlichen, und $^{1}/_{57570}{}^{mm}$ bei dem in der Luft betrachteten Blättchen.

Uebrigens brauche ich wohl kaum zu bemerken, dass alle vorstehenden Zahlen nur als Beispiele und als Annäherungswerthe zu betrachten sind und kein genaues Maass der Sichtbarkeit geben, da diese für jedes Mikroskop und für jedes Object immer wieder variirt.

Endlich muss ich hier noch eine Bemerkung beifügen, die sich an 250
eine mit dem blossen Auge zu machende und §. 86 beschriebene Beobachtung anschliesst, dass nämlich die allerkleinsten sichtbaren Objecte oder Bildchen nicht mehr vollkommen scharf, sondern etwas diffus wahrgenommen werden. Man kann die Sache auch so ausdrücken, dass ein mikroskopisch betrachtetes Object, welches wegen seiner Kleinheit der Sichtbarkeit verlustig wird, sobald es sich in jener richtigen Entfernung vom Mikroskope befindet, bei welcher ein scharfes Netzhautbild desselben entsteht, doch noch erkannt werden kann, sobald diese Entfernung etwas abgeändert wird und nun ein zwar diffuses, aber doch etwas grösseres Netzhautbild entsteht. Daher kommt es, dass manche wegen ihrer grossen Durchsichtigkeit schwer wahrnehmbare Objecte, z. B. die Epithelialzellen der Luftröhre und deren Kerne, etwas deutlicher sich darstellen bei solcher Entfernung, wo ihre Ränder nicht ganz scharf, sondern etwas verwischt sich darstellen, dabei aber breiter sind. Auch wird man bei der Annäherung zum Mikroskope oftmals beobachten, dass im Gesichtsfelde Streifchen und Fleckchen vorkommen, die noch eine ziemliche Breite besitzen, so lange sie nicht in der gehörigen Entfernung vom Mikroskope sich befinden und deshalb leicht wahrgenommen werden; sie rühren aber gleichwohl von so kleinen Körperchen her, dass sie in dem Augenblicke, wo die richtige Entfernung für Bildung eines scharf begrenzten Netzhautbildchens erreicht ist, dem Auge sich beinahe entziehen.

Ganz anders verhält es sich mit der Unterscheidung zweier Gesichtseindrücke. Hier hilft die grössere Ausbreitung der Diffusionsbildchen auf der Netzhaut nicht allein nichts, vielmehr ist sie sogar schädlich. Um auf das eben angeführte Beispiel mit den Epithelialzellen zurückzukommen, so können deren feine Cilien nur dann deutlich wahrgenommen werden, wenn das Bild einer jeden Cilie scharfe Grenzlinien hat, und aus diesem Grunde werden sie in dem Momente am deutlichsten erkannt, wo das Bild am kleinsten ist.

Digitized by Google

Sinnentstellende Druckfehler.

Seite	104	Zeile	7	von	oben	zu lesen:	95mm, 9,5mm und 4,75mm.
„	116	„	15	„	„	„	ebene Fläche statt obere Fläche.
„	147	„	4	„	unten	„	die nach aussen statt auch die aussen.
„	149	„	9	„	„	„	kann ohne Schaden die unterste Linse u. s. w.
„	320	„	8	„	„	„	weshalb ich nicht weiter auf jene Controverse eingehe.

Digitized by Google

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

Digitized by Google

DAS

MIKROSKOP.

THEORIE, GEBRAUCH, GESCHICHTE

UND

GEGENWÄRTIGER ZUSTAND DESSELBEN

VON

P. HARTING,

Professor in Utrecht.

DEUTSCHE ORIGINALAUSGABE,

VOM VERFASSER

REVIDIRT UND VERVOLLSTÄNDIGT.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. FR. WILH. THEILE,

Grossherzoglich Sächsischem Medicinalrathe.

IN DREI BÄNDEN.

ZWEITER BAND.

Gebrauch des Mikroskopes.

Zweite wesentlich verbesserte und vermehrte Auflage.

MIT 466 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN
UND EINER TAFEL IN FARBENDRUCK.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1866.

Digitized by Google

GEBRAUCH

DES

MIKROSKOPES

UND

BEHANDLUNG MIKROSKOPISCHER OBJECTE.

VON

P. HARTING,
Professor in Utrecht.

DEUTSCHE ORIGINALAUSGABE,
VOM VERFASSER
REVIDIRT UND VERVOLLSTÄNDIGT.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. FR. WILH. THEILE,
Grossherzoglich Sächsischem Medicinalrathe.

Zweite wesentlich verbesserte und vermehrte Auflage.

MIT 104 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.
1866.

Digitized by Google

Digitized by Google

Inhaltsverzeichniss des zweiten Bandes.

Erster Abschnitt.

Zweiter Abschnitt.

Dritter Abschnitt.

Digitized by Google

Vierter Abschnitt.

Fünfter Abschnitt.

Sechster Abschnitt.


Digitized by Google

Siebenter Abschnitt.

Digitized by Google

Erster Abschnitt.

Die mikroskopische Untersuchung im Allgemeinen.

Jede mikroskopische Untersuchung hat zum Zweck, Objecte oder Bewegungen sichtbar zu machen, die wegen ihrer Kleinheit dem blossen Auge nicht wahrnehmbar sein würden. Die ersteren sind ganze Körper oder Theile von solchen; die letzteren sind die Folge sich äussernder Kräfte, die entweder den Objecten selbst oder deren Umgebung innewohnen. 1

Dem mikroskopischen Beobachter, das Wort in der weitesten Bedeutung genommen, liefert demnach die gesammte Natur die Untersuchungsobjecte; oder man kann die Sache auch so aussprechen, dass jeder Naturforscher, welche besondere Seite der Forschung er auch erwählt haben mag, mikroskopischer Beobachter sein muss. Chemiker und Physiker, Geologen und Mineralogen, Botaniker und Zoologen, alle stossen bei ihren Untersuchungen auf Grenzen, wo der Gesichtssinn nicht mehr ausreicht. Ein neues Gesichtsfeld thut sich vor jedem derselben auf, ein neues Gebiet eröffnet sich ihrer vorwärtsstrebenden Wirksamkeit, sobald sie das Mikroskop zur Hand nehmen und mit ihrem Blicke dorthin zu dringen vermögen, wo das unbewaffnete Auge Formen oder Bewegungen wahrzunehmen ausser Stande ist.

In der grossen Mehrzahl der Fälle zerfällt die mikroskopische Untersuchung in zwei Acte: a) die Zubereitung der Objecte, oder die Versetzung in einen solchen Zustand, worin die zur mikroskopischen Beob- 2

achtung nöthigen Eigenschaften hervortreten; b) die eigentliche Beobachtung. Damit ist der Weg vorgeschrieben, welcher in diesem Bande eingeschlagen werden muss. Doch werde ich mir dabei Abweichungen von der gedachten logischen Reihenfolge erlauben, wie sie mir nöthig erscheinen, um eine grössere Deutlichkeit bei Betrachtung der hierher gehörigen Gegenstände zu erreichen.

3 Vorher wird es jedoch zweckmässig sein, auf die Frage einzugehen, welche Eigenschaften derjenige besitzen muss, der sich des Mikroskopes zu wissenschaftlichen Untersuchungen bedienen will. Zuvörderst aber soll von den körperlichen Eigenschaften die Rede sein.

Unter denen, die sich einen Theil der Naturwissenschaften zum Studium erwählt haben, dürften allerdings nur wenige körperlich so verwahrlost sein, dass sie aus diesem Grunde vom Gebrauche des Mikroskopes abstehen und damit ihre Vernachlässigung eines Instrumentes entschuldigen sollten, dessen erspriessliche Dienste ihnen nicht unbekannt sein können. Man muss jedoch auch zugeben, dass jene, welche sich speciell mit der Untersuchung des Kleinen in der Natur beschäftigen und täglich ein Paar Stunden das Mikroskop handhaben, bestimmte körperliche Eigenschaften in einem vollkommneren Grade besitzen müssen, als einer, der das Mikroskop nur von Zeit zu Zeit und mehr im Vorübergehen zur Hand nimmt. Uebrigens darf nicht vergessen werden, dass einzelne derartige Eigenschaften durch Uebung sehr gestärkt und verbessert werden können.

Die wichtigsten körperlichen Erfordernisse jedes mikroskopischen Beobachters sind aber gute Augen und gute Hände. Dass er auch sonst, um längere Untersuchungen ausführen zu können, eine gute Constitution besitzen muss, dass er namentlich nicht an Congestionen zum Kopfe, an keiner erhöhten allgemeinen Reizbarkeit des Nervensystemes leiden darf, versteht sich wohl von selbst und bedarf keiner weiteren Auseinandersetzung, da man sich kaum eine geistige Thätigkeit denken kann, auf welche ein krankhafter Zustand des Körpers nicht einen störenden Einfluss üben sollte.

Der Ausdruck gute Augen und gute Hände bedarf aber noch einer näheren Bestimmung. Augen, wie sie der Seemann braucht, oder Hände, die einem Zimmermann tüchtige Dienste leisten würden, sind noch keine guten für denjenigen, der sich ihrer zu mikroskopischen Untersuchungen bedienen will. Bei dieser Gelegenheit werde ich übrigens auch mit angeben, wie diese Organe zur Ausführung mikroskopischer Untersuchungen am besten vorbereitet und geübt werden können.

4 Ganz gute Augen müssen folgende Eigenschaften in sich vereinigen.

Digitized by Google

1) Die durchsichtigen Medien, nämlich Hornhant, *Humor aqueus*, Linse und *Humor vitreus*, müssen möglichst durchsichtig sein, so dass die Lichtstrahlen fast ohne Verlnst bis zur Netzhaut gelangen.

2) Das Accommodationsvermögen muss es ermöglichen, sehr entfernte Objecte mit fast parallel verlaufenden Lichtstrahlen und sehr nahe Gegenstände, deren Strahlen stark divergirend auf die Hornhaut fallen, mit gleicher Leichtigkeit nnd gleich scharf und dentlich zu erkennen.

3) Die Netzhant muss für die schwächsten Eindrücke empfänglich, dabei aber von jener krankhaften Irritabilität frei sein, in deren Folge leicht sogenannte Nachbilder entstehen, welche für die nachfolgenden Eindrücke störend sind.

4) Sie müssen ohne ein besonderes Gefühl von Anspannung oder Ermüdung eine geraume Zeit lang zur Aufnahme scharfer Gesichtseindrücke verwendet werden können.

So vollkommene Augen kommen indessen nur selten vor. Nament- 5
lich ist das Accommodationsvermögen in der Regel ein sehr beschränktes, so dass derjenige, welcher entfernte Objecte gut sehen kann, dieselben weniger gut wahrzunehmen pflegt, wenn sie nur wenige Zolle vom Auge entfernt sind. Letzteres ist zwar keine unerlässliche Forderung, aber doch ein grosser Vortheil für denjenigen, der mikroskopische Untersuchnngen anstellt. Je näher er die Objecte den Augen bringen kann, ohne dass Diffusionsbildchen anf der Netzhaut entstehen, um so mehr wirken seine Angen selbst schon als Mikroskop und zwar als ein solches, welches die besten Instrumente dieser Art übertrifft, sowohl in der Grösse des Gesichtsfeldes als im durchdringenden und begrenzenden Vermögen, worüber das zu vergleichen ist, was früher (I, §. 247) über die Grenzen des optischen Vermögens des blossen Auges und des Mikroskopes angeführt worden ist.

Darin liegt der Grund, weshalb ein Myope im Allgemeinen zu mikroskopischen Untersuchungen geschickter ist als ein Presbyope. Namentlich muss der Fernsichtige beim Anfertigen feiner mikroskopischer Präparate sogleich zur Lupe greifen, während es dem Kurzsichtigen hierbei sehr zn statten kommt, dass er kleine Objecte in geringer Entfernung von seinem Auge noch scharf wahrznnehmen im Stande ist. Auch können myopische Augen in der Regel eine längere Anstrengung besser vertragen, vorausgesetzt natürlich, dass sie nicht mit anderen Gebrechen behaftet sind, die manchmal mit Myopie verbunden vorkommen.

Der Myopische bringt also von Natur eine besondere Anlage mit zu jenen Verrichtungen, welche bei den meisten mikroskopischen Untersuchungen vorznnehmen sind. Wem jedoch diese glückliche Anlage abgeht, der vermag durch Uebnng dem Mangel grossentheils abzuhelfen. Es ist bekannt genug, dass alle Sinnesorgane durch Uebnng an Schärfe

Digitized by Google

gewinnen, und dass sie immer geschickter werden zu jener Art von Thätigkeit, wozu sie vorzugsweise in Gebrauch kommen. Der Seemann, der von Jugend auf immer nach dem Horizonte hinschaute, hat dadurch allmälig die Fähigkeit erlangt, seine Augen leicht und ohne Anstrengung parallelen Strahlen zu accommodiren. Ebenso wird derjenige, der mit feiner Handarbeit beschäftigt ist (und dazu gehört ein grosser Theil von den Verrichtungen des Mikroskopikers), allmälig finden, dass seine Augen immer mehr befähigt werden, für geringere Entfernungen sich zu accommodiren.

Auch noch aus einem anderen Grunde werden die Augen durch anhaltende Uebung mehr und mehr zu mikroskopischer Beobachtung geeignet. Ich habe bereits oben (I, §. 218) darauf aufmerksam gemacht, dass die Augen Ungewohnter nicht in den Zustand von Ruhe kommen, welche erfordert wird, wenn sie eine längere Zeit hindurch ohne Ermüdung durchs Mikroskop sehen sollen. Im gewöhnlichen Leben pflegen wir nicht die Entfernung der Objecte nach dem Accommodationszustande des Auges zu bestimmen, vielmehr diesen Accommodationszustand nach der Entfernung der Objecte zu bemessen. Hier ist dies auch nicht hinderlich, da meistens zwischen den aufeinanderfolgenden Gesichtseindrücken Momente des Ausruhens liegen, wo das Auge sich wiederum von seiner Anstrengung erholen kann. Anders stehen die Sachen, wenn wir das Auge eine Zeit hindurch zu anhaltender mikroskopischer Untersuchung verwenden. Wenn hier der Ungeübte, ganz unwillkürlich und unbewusst, sein Accommodationsvermögen ebenfalls wirken lässt, und Gesichtseindrücke aufzunehmen oder festzuhalten sucht von Objecten, die sich in verschiedener Entfernung befinden, so fühlt er in Folge dieser anhaltenden Thätigkeit des Auges alsbald eine Ermüdung in demselben, wodurch er genöthigt wird, das mikroskopische Sehen einige Zeit hindurch auszusetzen. Der geübte Beobachter dagegen benutzt seine Retina nur als Schirm, worauf er die Bilder der Objecte auffängt, und die übrigen Theile des Auges bleiben in voller Ruhe; was sonst durch das Accommodationsvermögen zu Stande gebracht wird, das überträgt er ganz und gar auf sein Instrument, welches dabei nicht ermüdet wird.

Hieraus folgt auch, dass ein häufiger Gebrauch des Mikroskopes keineswegs, wie es viele annehmen, dem Gesichtsorgane nachtheilig ist, dieses vielmehr allmälig dadurch immer geschickter wird, genaue und längere Anstrengung erfordernde Beobachtungen auszuführen. Auch wird jene Ansicht durch die Erfahrung hinlänglich widerlegt. Leeuwenhoek, der zu seinen Untersuchungen nur kleine Linsen benutzte, durch die das Auge natürlicher Weise in einem weit stärkeren Grade angestrengt wird, als durch das zusammengesetzte Mikroskop, setzte seine Untersuchungen bis über das achtzigste Jahr hinaus noch täglich fort, ohne dass seine Augen dadurch einen Schaden erlitten zu haben scheinen.

Digitized by Google

Damit soll nun aber nicht behauptet sein, dass mikroskopische Beobachtungen, die unter gewissen ungünstigen Umständen angestellt werden, nicht sollten schädlich sein können. Im Gegentheil, jeder mikroskopische Beobachter muss seine Augen schonen und sich vor allen solchen Einflüssen hüten, deren nachtheilige Einwirkung auf die Augen bekannt ist. Er ist vielleicht hierzu mehr genöthigt als ein anderer, weil ihm das Gesichtsorgan das einzige Mittel ist zur Gemeinschaft mit der kleinen Welt, die er sich zum Gegenstande seiner Forschungen erwählt hat. Es sind deshalb einige Vorsichtsmaassregeln nöthig, um das Auge in gutem Zustande zu erhalten. Vornehmlich sind alle zu starke Gesichtseindrücke zu vermeiden. Anfänger im Mikroskopiren begehen meistens alle den Fehler, dass sie die Objecte oder richtiger das Gesichtsfeld zu stark beleuchten. Dass die Sichtbarkeit der Objecte dadurch nicht gefördert wird, darauf habe ich schon mehr denn einmal aufmerksam gemacht (I, §. 216); zudem wird auch die Netzhaut dadurch zu stark gereizt, und der Ueberreizung folgt später eine Abstumpfung. 6

Wirkte ein zu starker Reiz ein, wie etwa in dem Falle, wenn zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes directes Sonnenlicht angewendet wird, dann dauert der Gesichtseindruck als Nachbild fort, und das traurige Beispiel einiger Naturforscher (Fechner, Plateau), die sich mit den hierbei auftretenden Erscheinungen beschäftigten, hat uns damit bekannt gemacht, wie gefährlich ein derartiger oftmals wiederholter überreizter Zustand der Retina dem Gesichtsorgane ist.

Aber nicht blos eine zu starke Beleuchtung muss beim Gebrauche des Mikroskopes vermieden werden, auch vor jedem zu starken Contraste von Licht und Dunkelheit hat man sich zu hüten. War das Auge einige Zeit hindurch im Dunkeln, dann ist die Pupille stark erweitert, und ein Beleuchtungsgrad, der unter gewöhnlichen Umständen sehr gut vertragen wird, wirkt dann schädlich, weil ein breiteres Lichtbündel durch die Pupille eindringt. In solcher Lage befindet sich jener, der eine Argand'sche Lampe benutzt und das von oben und seitlich herkommende Licht mittelst eines Schirmes abhält. Man will dadurch das Licht mehr auf die Tafel concentriren, an der man arbeitet; man erreicht dies aber nur unvollkommen durch die weisse Farbe, womit die innere Fläche eines solchen Schirmes in der Regel angestrichen ist. Der eigentliche Grund, warum der von einer solchen Lampe unmittelbar bestrahlte Raum scheinbar besser beleuchtet ist, liegt in dem Contraste mit dem übrigen Zimmer, worin man sich befindet; das Auge aber, welches bald dem dunkleren Zimmer, bald wieder der hellen Tafel oder dem beleuchteten Gesichtsfelde des Mikroskopes zugekehrt ist, muss die schädlichen Folgen der immer wiederkehrenden abwechselnden Expansionen und Contractionen der Pupille empfinden. Bei jeder künstlichen Beleuchtung stelle man sich das 7

Digitized by Google

Ziel, die natürliche Beleuchtung möglichst nachzuahmen; wie die Sonne ihre Strahlen gleichmässig nach allen Richtungen entsendet, so soll es auch mit unserem künstlichen Lichte geschehen. Deshalb ist aber auch der Gebrauch aller Lampen, die nur in einer bestimmten Richtung ihr Licht ausstrahlen und die von manchen Optikern ihren Mikroskopen ausdrücklich beigefügt werden, unbedingt zu verwerfen.

Eine ähnliche, ja vielleicht selbst noch schädlichere Wirkung übt das Tageslicht, welches durch eine enge Oeffnung in ein sonst dunkel gehaltenes Zimmer eingelassen wird. Früher benutzte man allgemein Mikroskope, denen wegen des mangelnden Aplanatismus nur eine kleine Oeffnung gegeben werden durfte. Da konnte Spallanzani's Rath, der späterhin auch von anderen wiederholt worden ist, dass man in einem ganz verdüsterten Zimmer arbeiten sollte, nicht ganz verwerflich erscheinen. Gegenwärtig aber, wo die Mikroskope so sehr verbessert sind, dass sie, ohne an begrenzendem Vermögen zu verlieren, ein breites Lichtbündel durchtreten lassen können, gewinnt der Beobachter nichts durch das dunkel gehaltene Zimmer, und er läuft nur Gefahr, seine Augen unwiederbringlich zu verderben. Mandl (*Traité pratique du microscope*. Paris 1839, p. 55) berichtet, dass einer seiner Bekannten sich jener Beleuchtungsweise bediente, aber nach einiger Zeit heftige Schmerzen in den Augen bekam und gleichzeitig an Schwäche des Gesichts litt, wodurch er genöthigt wurde, vom ferneren Gebrauche des Mikroskopes ganz abzustehen.

8 Müssen auch solche Beispiele davor warnen, die Augen bei mikroskopischen Untersuchungen solchen Einflüssen preiszugeben, die ihnen nachtheilig werden können, so will ich es doch nochmals wiederholen, dass die mikroskopische Beobachtung an und für sich dem Auge keinen Schaden bringt, so wenig als die Benutzung des blossen Auges zum gewöhnlichen Sehen deshalb als etwas Schädliches bezeichnet werden darf, weil es Menschen giebt, die ihr Gesicht dadurch verloren, dass sie geradezu in die Sonne sahen oder auf eine von der Sonne beschienene Schneefläche.

Nur gelte es als feste Regel, eine mikroskopische Untersuchung nicht fortzusetzen, sobald man nur eine Spur von Ermüdung oder von Schmerzen im Auge fühlt. Der Anfänger im Mikroskopgebrauche wird bald dergleichen Zeichen an sich wahrnehmen, er braucht sich aber dadurch nicht abschrecken zu lassen. Als Grund dieser schnelleren Ermüdung des Auges habe ich schon vorhin der unwillkürlichen Wirkung des Accommodationsvermögens Erwähnung gethan. Bei jeder neuen Benutzung des Instrumentes wird der Anfänger, falls seine Augen sich nicht in einem krankhaften Zustande befinden, die Erfahrung machen, dass er die Beobachtung immer länger ohne Anstrengung fortsetzen kann, und zuletzt wird er,

wenn er die nöthige Vorsicht gebraucht, eben so wenig dadurch angestrengt werden, als wenn er seine Augen zum Schreiben, zum Lesen, zum Zeichnen u. s. w. benutzt.

Beim mikroskopischen Sehen wird nur Ein Auge benutzt; man ge- 9
wöhne sich aber, das andere Auge immer offen zu behalten. Bei einiger Uebung thut dies dem Gesichtseindrucke, den jenes durchs Mikroskop sehende Auge erhält, durchaus keinen Eintrag, und es ist damit der Vortheil verbunden, dass das andere für gewöhnlich ganz unthätige Auge unter besonderen Umständen, nach der früher angegebenen Methode des Doppelsehens (I, §. 185), zum Zeichnen oder zum Messen benutzt werden kann. Ueberdies hat das Zukneifen des einen Auges immer eine Spannung in den Lidern des anderen Auges zur Folge, die nicht lange ausgehalten werden kann. Rathsam ist es auch, dass man nicht ausschliessend immer das nämliche Auge zum Beobachten nimmt, sondern mit den Augen wechselt. Man läuft sonst Gefahr, dass allmälig das Zusammenwirken beider Augen beim gewöhnlichen Sehen unvollkommen von statten geht, was für die Erkennung der körperlichen Formen, d. h. für das stereoskopische Sehen, mit Nachtheilen verbunden ist.

Als das zweite wichtige somatische Erforderniss bei mikroskopischen 10
Untersuchungen nannte ich gute Hände. Die Instrumentenmacher haben sich freilich wohl viel Mühe gegeben, dieselben entbehrlich zu machen; sie haben allerlei Räder- und Schraubeneinrichtungen erdacht, wodurch auch die rohesten und wenigst geübten Hände in Stand gesetzt werden, den unterm Mikroskope befindlichen Objecten die feinsten Bewegungen mitzutheilen. Hat man doch sogar vorgeschlagen (Purkinje in Wagner's *Wörterb.*, Art. Mikroskop), durch Schrauben bewegte Messerchen und Scheerchen auf den Objecttisch zu bringen, um damit feine Zergliederungen unterm Mikroskope vorzunehmen.

Ohne gerade in Abrede zu stellen, dass solche mechanische Hülfsmittel dem Geübten bisweilen zu statten kommen können, muss ich doch ihren wirklichen Nutzen als einen sehr eingeschränkten bezeichnen, und niemals können sie den Abgang guter zum Arbeiten brauchbarer Hände ersetzen. Selbst die beste Schraube bewegt ein Object nur in Einer Richtung, während die Finger durch zahlreiche Muskeln befähigt sind, Bewegungen in allen möglichen Richtungen auszuführen. Es müssen diese Bewegungen zwar in gleichem Maasse verkürzt und verlangsamt werden, in welchem die Vergrösserung zunimmt; dazu ist aber nichts als Uebung nöthig. Die mechanischen Mittel, die Muskeln nämlich, besitzen wir, wir müssen sie aber auf passende Weise zu gebrauchen erlernen.

Zuvörderst muss man sich die Fertigkeit zu eigen machen, die Ob- 11

jecte im Gesichtsfelde des Mikroskopes gleichmässig und ohne Erschütterung mittelst der Hände zu bewegen. Anfangs wird dies dem beginnenden Mikroskopiker schwer fallen, namentlich beim zusammengesetzten Mikroskope, wo alle Bewegungen in umgekehrter Richtung mit den wahren stattfinden müssen, und wenn der Objecttisch seines Mikroskopes mit einem beweglichen Schlitten versehen ist, so wird er immer in Versuchung kommen, nach dessen Schrauben zu greifen. Er lasse sich aber dadurch nicht entmuthigen. Bei einiger Ausdauer werden die Finger bald die Fertigkeit erlangt haben, dem Willen ganz nachzukommen; dabei werden sie in Allseitigkeit der Bewegung den künstlichsten Schlittenapparat übertreffen, in Genauigkeit der Bewegung ihm aber gleichkommen.

Um sich auf eine geregelte Weise darin zu üben, ist es gut, zuerst bei den schwächsten Vergrösserungen irgend ein Object an eine bestimmte Stelle des Gesichtsfeldes zu schieben, etwa den Rand des Objectes mit dem Rande des Gesichtsfeldes, oder mit einem im Oculare ausgespannten Spinnewebfaden in Berührung zu bringen. Auch ist das Beobachten mancher Infusorien und Rotatorien eine sehr gute Uebung, weil es nicht leicht ist, ein solches frei im Wassertropfen schwimmendes Thierchen fortwährend im Gesichtsfelde zu behalten. Selbst ganz kunstreich angebrachte Schrauben reichen hierzu nicht aus, während es die Finger, auch bei ansehnlicher Vergrösserung, noch auszuführen im Stande sind.

12 Hände und Finger werden ferner dazu benutzt, Präparate anzufertigen oder Zergliederungen auf dem Objecttische des Mikroskopes auszuführen. Beim zusammengesetzten Mikroskope liegt in der Umkehrung des Bildes ein schwer zu überwindendes Hinderniss, und bezweifele ich auch, dass jemals jemand eben so gut damit arbeiten lernt, als wenn die Bilder der Objecte sich in der naturgemässen Richtung befinden. Glücklicher Weise ist dies auch nicht so nöthig. Zu den feinsten Zergliederungen reicht eine Vergrösserung aus, die höchstens eine 50- bis 60fache zu sein braucht. Wollte man noch stärkere Vergrösserungen anwenden, so würden hierzu brauchbare Zergliederungsinstrumente abgehen. Bei der angegebenen Vergrösserung bleibt die einfache Linse oder das Doublet noch in hinreichender Entfernung vom Objecte, um dasselbe mit feinen Nadeln und Messern behandeln zu können. Ueberdies besitzen wir auch an dem bildumkehrenden Mikroskope ein für solche Zergliederungen ganz ausreichendes Instrument.

Arbeitet man unter dem Mikroskope oder unter der Lupe, so kommt es hauptsächlich auf eine feste Hand an, d. h. darauf, dass keine unwillkürlichen Muskelerzitterungen in der Hand stattfinden. Dies verlangt mehr Uebung und ist weit schwerer, als die soeben erwähnte Verschiebung der Objecte auf dem Objecttische; davon wird sich jeder überzeugen, der den Versuch macht, die Spitze einer Nadel ganz still und un-

Digitized by Google

beweglich im Brennpunkte eines Mikroskopes zu halten. Man wird sehen, dass die Nadelspitze sich in einer fortwährenden zitternden Bewegung befindet, die ihr von der Hand mitgetheilt wird. Es scheint diese zitternde Bewegung untrennbar mit jeder Muskelcontraction verbunden zu sein, ihre vollständige Beseitigung demnach zu den Unmöglichkeiten zu gehören; indessen lässt sie sich vermindern und dadurch beinahe unschädlich machen.

Zuvörderst nimmt sie durch jede ungewöhnliche Kraftanstrengung zu: durch Heben einer schweren Last, durch die schnellen Bewegungen der Arme und Hände beim Sägen, Feilen u. s. w. werden diese Organe oftmals noch viele Stunden hindurch zu jeder feineren Arbeit ganz unbrauchbar. Wer daher unterm Mikroskope eine Zergliederung vornehmen will, der darf nur dann daran gehen, wenn seine Arm- und Handmuskeln sich von einer früheren, grössere Kraftanstrengung erfordernden Thätigkeit vollkommen erholt haben. Man wird sogar finden, dass feine Präparate am besten gerathen, wenn man sie am Morgen, kurze Zeit nach dem Erwachen, anfertigt, weil während des Schlafes das Gleichgewicht sich wiederum hergestellt hat, welches durch die während des Tages vorgenommenen Beschäftigungen, auch wenn dieselben keine besondere Kraftanstrengung erfordern, allmälig in einem mehr oder weniger hohen Grade verloren geht.

Sodann kann jeder an sich selbst erproben, dass die durch jenes unwillkürliche Muskelzittern erzeugten Bewegungen um so ausgedehnter sind, je entfernter der bewegte Theil von einem festen Stützpunkte gelegen ist. Versucht man stehend, ohne dass die Arme oder Hände irgendwo gestützt sind, eine Nadelspitze in den Brennpunkt des Mikroskopes zu halten, so gewahrt man, dass die Nadelspitze starke Bewegungen macht. Diese werden sich alsbald vermindern, sowie man in die sitzende Stellung übergeht, oder wohl gar den Ellenbogen und Vorderarm aufstützt; auf ein Minimum aber werden sie reducirt, wenn auch die Hand auf einer festen Unterlage ruht. Die Sache erklärt sich einfach. Das Muskelzittern pflanzt sich von einem Theile des Körpers auf den anderen fort, beim Stehen demnach von den Beinen auf den Rumpf, von da auf die Arme, auf die Hände und endlich auf die Fingerspitzen; an diesen letzten muss mithin die Bewegung am ausgiebigsten sich darstellen, weil sie aus den Muskelerzitterungen des ganzen Körpers resultirt. Unterbricht man die Bewegung an irgend einem Punkte dieser Bahn, so pflanzt sie sich nur von diesem Punkte aus weiter fort, und somit ist es klar, dass die Fingerspitzen dem Zustande vollkommener Ruhe um so näher kommen werden, je mehr sie dem Stützpunkte, welcher die Fortpflanzung der Muskelerzitterungen hindert, genähert sind. Deshalb muss man es sich zur Regel machen, nicht nur alle feineren mechanischen Trennungen im Sitzen vorzunehmen, sondern dabei auch

Digitized by Google

die Arme und Hände durch passend angebrachte Unterlagen zu unterstützen. Manchmal kann es sogar gut sein, wenn man noch unter das letzte Glied des Mittelfingers, der mit dem Daumen und dem Zeigefinger zum Halten und Leiten des zur Trennung benutzten Instrumentes dient, eine kleine Rolle bringt, welche das Glied unterstützt, ohne doch dessen Bewegungen hinderlich zu sein.

13 Es versteht sich von selbst, dass ein Anfänger, wenn er diesen Vorschriften auch getreulich nachkommt, doch noch nicht sogleich im Stande sein wird, sehr mühsame Zergliederungen, etwa von sehr kleinen Insecten, unter dem Mikroskope auszuführen. Es muss Uebung hinzukommen, und diese erwirbt man sich am besten, wenn man allmälig vom Leichteren zum Schwereren fortschreitet. Er beginne daher mit der Anfertigung solcher Präparate, zu denen die Beihülfe des Mikroskopes noch nicht erforderlich ist, indem er etwa dünne Schnitte von ziemlich harten Körpern macht, von Knorpeln, Hörnern, Nägeln, den meisten Pflanzengeweben u. s. w. Dann gehe er zu Präparaten über, zu deren Darstellung die Benutzung einer nur wenig vergrössernden Lupe in der Regel ausreicht. Die Anatomie der Insecten, der Mollusken und anderer kleiner Thiere bietet hier seiner Uebung ein reiches Feld, indem er zu immer kleineren Objecten fortschreitet und zugleich bei stets zunehmenden Vergrösserungen arbeitet. So wird er nach einiger Zeit dazu gelangen, die Zerlegung eines Flohs, einer Milbe, ja selbst eines grösseren Infusoriums unter dem Mikroskope fast mit gleicher Leichtigkeit auszuführen, wie die Section eines vierfüssigen Thieres oder eines Vogels mit unbewaffnetem Auge.

14 Nach Betrachtung der wichtigsten somatischen Eigenschaften, welche der mit mikroskopischen Untersuchungen sich Beschäftigende besitzen soll oder doch zu erwerben suchen muss, kommen nun die psychischen Eigenthümlichkeiten, die ihn auszeichnen sollen, an die Reihe.

Manche dürften vielleicht meinen, die Betrachtung dieser letzteren gehöre nicht hierher, weil ja die Vermögen und Eigenschaften der Seele, welche von einem Mikroskopiker gefordert werden, überhaupt keinem Naturforscher fehlen dürfen, die vorstehende Frage demnach mit der allgemeineren Frage zusammenfällt: welche psychischen Eigenthümlichkeiten werden von jenem erwartet, der die Erforschung der Natur und ihrer Erscheinungen sich zum Ziele gesetzt hat? Begreift aber auch die letztere Frage die erstere in sich, so lässt sich die Sache doch nicht geradezu umkehren. Schon die Wahrnehmung, dass der eine sich mehr zu diesem, der andere mehr zu jenem Theile der Naturforschung hingezogen fühlt, ist Beweis dafür, dass in der verschiedenartigen Gemüths- und Geistesrichtung die Bedingungen zu diesen verschiedenen Neigungen enthalten sind. Auch darf die besondere Natur der Objecte, mit deren Untersuchung man sich beschäftigt, nicht aus dem Auge verloren wer-

den, da dieselben bald die Einwirkung einer bestimmten geistigen Thätigkeit, bald wieder einer anderen beanspruchen, und da in der Eigenthümlichkeit jeder Untersnchung immer besondere Veranlassungen zu Irrthum enthalten sind, den zwar kein Naturforscher immer und zu allen Zeiten entfernt zu halten hoffen darf, den aber möglichst zu verhüten stets seine höchste Pflicht ist.

Aus diesen Gründen erachte ich eine kurze Angabe über die psychische Beschaffenheit eines mikroskopischen Beobachters hier nicht für unpassend, zumal ja dieser Band ganz besonders für solche bestimmt ist, die erst anfangen, sich auf die Naturwissenschaften zu verlegen, und alle die Klippen noch nicht kennen, an denen sie Schiffbruch erleiden können. *Lerne dich selbst kennen*, muss einem jeden zugerufen werden, der sich einen besonderen Zweig des Wissens erwählt und den ersten Schritt auf dem neuen Wege thut; denn wer sich selbst und die Wissenschaft kennt, der wird unschwer an den Klippen vorbeisegeln.

Wahrheit, reine unverfälschte Wahrheit ist die Wissenschaft. Die 15
erste und wichtigste Forderung an jeden Naturforscher, also auch an den Mikroskopiker, ist die unwandelbare Wahrheitsliebe.

Die Wahrheit dieser Sätze ist von allen anerkannt, und dennoch lehrt die tägliche Erfahrung, dass immer dagegen gesündigt wird. Ich rede hier nicht von jenen, die absichtlich betrügen; ihre Anzahl ist gewiss kleiu, und es kann auch nicht mein Ziel sein, sittliche Besserung zu bewirken; sie mögen die Unwahrheiten, die sie anderen mit Wissen und Willen, ans welchen Gründen es auch geschehen mag, als Wahrheiten auftischen, vor ihrem eigenen Gewissen verantworten. Ich habe es nur mit der grösseren Zahl jener zu thun, die, wenn sie anch die Wahrheit zu lieben vermeinen, in Irrthümer verfallen, die sie hätten vermeiden können. Diese Irrthümer sind unwillkürliche und darum leichter zu verzeihen; sie sind aber der Wissenschaft nicht weniger schädlich, als vorbedachte Lügen, ja manchmal noch mehr als diese, wenn aus dem Tone, in welchem die Mittheilung gemacht wird, zu ersehen ist, dass der Beobachter wirklich in gutem Glauben ist. Die Wahrheitsliebe muss aber noch weiter gehen und ernstlich bestrebt sein, jeder Verleitnng zum Irrthume zuvorzukommen. Dieselbe verlangt auch, namentlich bei den auf Induction beruhenden Naturwissenschaften, eine strenge Kritik: das Zuverlässigere muss vom Unsicheren, das Wahre vom Wahrscheinlichen, das Wahrscheinliche vom blos Möglichen unterschieden werden. Das behalten jene, die ihre Untersuchungen dem Publikum vorlegen, oftmals nicht genugsam im Auge. Es mögen z. B. zwei Beobachter sich mit der Entwickelungsgeschichte eines und desselben Gewebes, Organes oder Thieres beschäftigen: sie beobachten vielleicht vollkommen die nämlichen Thatsachen, und dennoch können ihre Ansichten

Digitized by Google

über die Art der Entwickelung ganz von einander abweichen, weil der eine die beobachteten Thatsachen auf diese Weise, der andere auf jene Weise an einander reiht. Wem unsere heutige Physiologie nicht unbekannt ist, der wird sich leicht mehrere Beispiele dieser Art vergegenwärtigen können; ich erinnere nur an die auseinander gehenden Ansichten, welche über Bildung und Entwickelung der thierischen und pflanzlichen Zelle aufgestellt worden sind. Diese Discrepanz darf aber auch nicht in Verwunderung setzen. Die Ausbildung einer Zelle, das Entstehen eines Gewebes dadurch, dass Zellen in Röhren, in Fasern u. s. w. sich umwandeln, hat noch keiner wirklich beaugenscheinigt. Wir sehen nur das bereits Bestehende, und darüber kann man in vielen, ja in den meisten Fällen zu jener empirischen Gewissheit kommen, die in den Naturwissenschaften gleichbedeutend ist mit der Wahrheit. Sobald wir uns indessen weiter wagen, sobald wir aus dem vorliegenden Verhalten auf vorausgegangene oder auf nachfolgende Zustände Schlüsse ziehen, dann gehen die positiven Resultate directer Beobachtung und die Schlüsse unserer subjectiven Auffassung in einander über; wir stehen dann auf dem Boden der Hypothese, die sich in diesem Falle, unerachtet aller Wahrscheinlichkeit, nicht anders als durch thatsächliche Wahrnehmung zur Wahrheit erheben kann.

Das Nämliche gilt auch von dem vielfach sich geltend machenden Bestreben, aus einer im Verhältniss zu der grossen Menge von Naturgegenständen doch immer nur kleinen Anzahl beobachteter Thatsachen zu folgern, dasjenige, was in dem einen Falle beobachtet wurde, müsse auch in einem anderen ähnlichen Falle stattfinden. Wir können allerdings die Schlüsse aus Analogie nicht entbehren und sie sind selbst ein sehr wichtiges Mittel zur Vervollkommnung der Wissenschaft, da sie uns den Weg anzeigen, der weiterhin eingeschlagen werden muss. Man darf aber nie vergessen, dass sie nur auf einen höheren oder geringeren Grad von Wahrscheinlichkeit Anspruch machen können, dass es mit dem Lichte, welches einer gut beobachteten Thatsache entströmt, oftmals eben so geht, wie mit dem eigentlichen Lichte, dessen Stärke im quadratischen Verhältniss der Entfernung von der Lichtquelle abnimmt.

Keine Classe der Naturforscher hat wohl mehr gegen diesen Satz gefehlt, als die Mikroskopiker. Vielleicht gerade die Kleinheit ihrer Untersuchungsobjecte und das unübersehbare Feld, das sie noch vor sich haben, daneben dann die jedem Naturforscher einwohnende Neigung, Zusammenhang und Einheit in den Erscheinungen aufzufinden, mag sie vorzugsweise vor anderen dieser Gefahr aussetzen. Man erinnere sich z. B. der vielen Irrthümer, welche sich in die Wissenschaft einschlichen und zum Theil noch bestehen durch die übertriebene Sucht, Uebereinstimmung in der Bildung der Thiere und Pflanzen herauszufinden. Niemand wird es verkennen, dass dieses Suchen nach Analogieen seine

Digitized by Google

sehr nützliche Seite hat; nur eile man der Wissenschaft nicht voraus, indem man schon ein Dach auf das Gebäude zu bringen sucht, dessen Grundlagen noch erst gelegt werden müssen.

Man trifft Beobachter, denen eine Eiche oder ein anderer zufällig in der Nähe ihrer Wohnung stehender Baum der Repräsentant aller Dicotyledonen ist, oder die ein Paar Beobachtungen, welche sie an dieser oder jener Palmsorte angestellt haben, auf alle Monocotyledonen übertragen, oder die daraus, dass dieses oder jenes Organ beim Kaninchen oder beim Hunde eine bestimmte Zusammensetzung hat, auf eine vollkommen gleiche Zusammensetzung bei allen Säugethieren schliessen. In vielen Fällen mögen solche auf die natürlichen Verwandtschaften sich stützende Sätze wirklich begründet sein und durch spätere ausdrücklich darauf gerichtete Untersuchungen ihre Bestätigung erhalten. Bevor jedoch das geschehen ist, können sie nicht zu den Wahrheiten gezählt werden, denn aus der Geschichte der Wissenschaft liessen sich wohl viele Beispiele sammeln, aus denen zu entnehmen ist, wie übereilt solche allgemeine Folgerungen sein können.

Wahrheitsliebe setzt also eine strenge Kritik voraus, nicht blos gegenüber den Beobachtungen anderer, wozu man in der Regel mehr denn zu geneigt ist, sondern vorzüglich auch gegenüber den eigenen Beobachtungen; dazu müssen aber genaue Grenzen gezogen werden, wo das Gebiet des Wahren aufhört und in jenes des Wahrscheinlichen übergeht, welches letztere allmälig mit jenem des nur Möglichen zusammenfliesst.

Zur Uebung dieser Kritik bedarf es aber nicht blos des einfachen 16
Wollens; wir müssen uns auch in einem Gemüthszustande befinden, der es uns möglich macht, mit nebelfreiem Blicke zu sehen und mit vorurtheilslosem Verstande zu schliessen. Als Hauptererforderniss hierzu nenne ich die Gemüthsruhe während der Untersuchung. Wie leicht es auch scheinen mag, dass dieser Forderung Genüge geschehe, es lehrt die Erfahrung dennoch, dass das Gegentheil nicht selten statt hat. Dies hat vorzüglich bei mikroskopischen Untersuchungen seine Richtigkeit, die nicht selten lebhafte Gemüthseindrücke veranlassen, welche mit der gewünschten Gemüthsruhe während der Beobachtung unvereinbar sind.

Ich denke hierbei nicht an jene, die das Mikroskop als eine Art Kaleidoskop benutzen und nur des Vergnügens halber anwenden, und die sich über die schönen Farben, über das Nette und Kleine an den Objecten, die sie dadurch sehen oder zu sehen glauben, kindisch freuen. Jeder übrigens, der in den Besitz eines Mikroskopes kommt und dasselbe zu ernsthaften Untersuchungen zu verwenden beabsichtigt, muss diese Periode der naiven Verwunderung über alles Neue, was er dadurch sieht, durchmachen. Jetzt bringt er eine Mücke oder Fliege, dann wieder ein

Digitized by Google

Stückchen Spitze oder Gaze oder einen glänzend gefärbten Schmetterlingsflügel, auch wohl ein Paar Käsemilben unter sein Mikroskop, und er fordert dazu auf, mit ihm zu schauen und sein Entzücken zu theilen. Das ist auch gar nicht zu verwundern, da nicht mit Unrecht gesagt worden ist, man trete in eine neue Welt ein, wenn man das Auge mit dem Mikroskope waffnet. Auch will ich jene Verwunderung über alles das Neue, das Entzücken über alles sich darstellende Schöne durchaus nicht tadeln. Nur vergesse man nicht, dass das Mikroskop doch kein Spielzeug ist, wenigstens kein solches sein soll in den Händen jener, die es zu etwas Besserem anwenden können, nämlich zur Förderung der Wissenschaft. Von dem Augenblicke an, wo das mikroskopische Sehen sich zur mikroskopischen Beobachtung gestaltet, handelt es sich nicht mehr darum, an einem Objecte dessen Schönheit, Zierlichkeit oder Kleinheit aufzufassen, sondern nur darum, wie dieses Object gestaltet ist und was es sonst für wahrnehmbare Eigenschaften besitzt. Mit Ruhe forsche man diesen nach, und man hüte sich selbst vor einem zu grossen Enthusiasmus, wenn der Gegenstand der Untersuchung dazu auffordern sollte. Mancher ist schon dadurch in Irrthum geführt worden, dass er, von teleologischen Begriffen ausgehend, der Natur überall bestimmte Zwecke unterlegte, die nach seiner Ansicht mit ihrer Weisheit harmoniren, und dass er diese Weisheit auch in den kleinsten Producten wiederfinden wollte; mit begeisterter Bewunderung sah er durchs Mikroskop, weil er wirklich das zu sehen glaubte, was zur Befestigung seiner vorgefassten Meinung diente, und was er nicht gesehen haben würde, hätte er der Weisheit der Natur weniger Bewunderung gezollt, dafür aber der Wahrheit mehr gehuldigt.

In der That muss man zugeben, dass es viele mikroskopische Untersuchungen giebt, bei denen der Beobachter grosse Gefahr läuft, alles zu sehen, was er mit lebhaftem Sinne zu sehen wünscht, sei es um einer früheren Meinung zu Hülfe zu kommen, sei es, dass ihn der Ehrgeiz stachelt, etwas Neues zu entdecken, damit sein Name aus einem Journal ins andere aufgenommen wird und zuletzt im Jahresberichte steht. Solche verkennen ihren Beruf und die Bestimmung des Instrumentes; nicht zur Erforschung der Natur machen sie davon Gebrauch, sondern die Natur wollen sie für ihre besonderen Zwecke ausbeuten.

17 Um zur Wahrheit zu gelangen, wird aber noch mehr gefordert als ein offenes Auge und ein vorurtheilsloser Verstand; sonst würde ein Kind der beste Beobachter sein. Das Wahrgenommene muss gedeutet werden, und dazu sind mancherlei Thätigkeiten des Geistes erforderlich, die zum Theil von angeborenen Eigenschaften abhängen, zum Theil aber auch durch Uebung angelernt werden müssen.

So muss sich z. B. der mikroskopische Beobachter durch Geduld und Ausdauer auszeichnen. Eine flüchtige Untersuchung ist überall eine

Digitized by Google

schlechte Untersuchung, besonders aber hier. Es giebt Fälle, wo man beim Erforschen der Naturerscheinungen und der Gesetze, denen die Natur folgt, ziemlich sicheren Schrittes einhergeht, wo man mit Sicherheit voraussehen kann, dass man, wenn die Arbeit auf eine im Voraus bestimmte Weise fortgeführt wird, endlich zu bestimmten Resultaten kommen wird. In anderen Fällen kann man mit eben so grosser Wahrscheinlichkeit voraussehen, dass man genöthigt sein wird, viel Mühe um Nichts aufzuwenden, dass man die Arbeit manchmal aufs Neue nach einem anderen Plane wird anfangen müssen, bis endlich das Glück die Bestrebungen begünstigt und die Ausdauer belohnt. Zu den letzteren gehören die meisten mikroskopischen Untersuchungen. Es kann wohl geschehen und selbst dem Geübtesten kann es begegnen, dass er von einem Gewebe zwanzig oder noch mehr Präparate anfertigen muss, bevor es gelingt, ein solches zu erhalten, woran mit voller Ueberzeugung dasjenige gesehen werden kann, was an den übrigen gar nicht oder nur unbestimmt wahrnehmbar ist.

Die mikroskopische Beobachtung hat es überdies nur mit Gesichtseindrücken zu thun; der Unterstützung der übrigen Sinnesorgane, namentlich des Gefühles, welches bei der Beobachtung mit blossem Auge ein so wichtiges Hülfsmittel ist, entbehren wir dabei gänzlich. Diesen Mangel zu ersetzen, sind wir genöthigt, die Gesichtseindrücke möglichst zu vervielfältigen. Das nämliche Object müssen wir bald in dieser, bald in jener Richtung dem Auge vorzuführen suchen; wir müssen es bei auffallendem und dann wieder bei durchfallendem Lichte betrachten und dabei noch die verschiedenen Modificationen in Anwendung bringen, die der Beleuchtungsapparat und die Kenntniss der Gesetze über den Gang des Lichtes zulässt; wir müssen das Object unter den verschiedenartigsten Umständen beobachten und dasselbe solchen Einflüssen aussetzen, von denen mit einigem Grunde zu erwarten steht, dass sie eine Wirkung hervorrufen, die vielleicht ein neues Licht verbreiten kann. Wenn wir dann zuletzt die verschiedenen Gesichtseindrücke zu einem Ganzen vereinigen, worin alle Theile unter einander in gehöriger Uebereinstimmung sind, einander aufklären und aufhellen, verschaffen wir uns daraus eine allgemeine Vorstellung über die Gestalt und Natur des Objectes, von der wir annehmen dürfen, dass sie, wenn auch nicht durchaus, doch wenigstens zum grossen Theile Wahrheit enthält.

Um zu dieser Vorstellung zu gelangen, muss in hohem Grade ein 18
Vermögen wirksam sein, welches leicht in Irrthum führt, wenn es, statt gehörig beherrscht zu werden, in unbeschränkter Freiheit thätig ist, ich meine die Phantasie.

Von sehr vielen Dingen können wir unterm Mikroskope nur einen kleinen Theil auf einmal übersehen: man muss sie in viel kleinere Theile

trennen, weil sie zu gross oder nicht durchsichtig genug sind, oder weil der einzelne Theil im Verhältniss zur Grösse des Gesichtsfeldes wieder zu viel Raum einnimmt. Wir sehen ferner durchs Mikroskop keine Körper, sondern nur Flächen deutlich, und es muss die körperliche Form aus jener der wahrgenommenen Flächen construirt werden. Diese Aufgabe hat die Phantasie zu erfüllen. Sie reihet die einzelnen empfangenen Eindrücke später an einander, sie füllt aber auch (und das ist das Gefährliche) die Lücken zwischen diesen Eindrücken aus. Wenn z. B. im Gesichtsfelde des Mikroskopes viele dünne, dicht neben einander verlaufende Streifen erscheinen, so können das möglicher Weise sein:

a) Wahre Streifen an einer platten Oberfläche, die aber wieder die doppelte Bedeutung haben können von
   α. Vertiefungen, z. B. die Theilungen eines Glasmikrometers,
   β. Verdickungen, z. B. die Rippchen auf Insectenschuppen;
b) Grenzlinien solider Fasern oder Fäden, etwa Muskel oder Sehnenfasern;
c) Grenzlinien von Röhrchen oder Canälchen, wohin die Faserzellen in vegetabilischen Geweben, die Zahn- und Knochencanälchen gehören;
d) Grenzlinien aneinanderstossender Lamellen, wie sie in der Krystalllinse, oder an den Fischschuppen, oder an den Schalen der Weichthiere vorkommen.

Oder würde etwa ein kleiner Ring im Gesichtsfelde des Mikroskopes wahrgenommen, so könnte das möglicher Weise sein:

a) eine kleine Scheibe, z. B. ein Blutkörperchen;
b) ein Kügelchen oder Tröpfchen, z. B. ein Milchkügelchen;
c) ein Bläschen, wie viele thierische und pflanzliche Zellen sich darstellen;
d) der Durchschnitt eines kegelförmigen oder cylindrischen Körpers, was bei vielen organischen Fasern und verlängerten Zellen vorkommen kann;
e) eine napfförmige Aushöhlung, wie die Hoftüpfel der Holzzellen von Coniferen, Cycadeen etc.;
f) eine wahre Oeffnung, dergleichen in der Wandung vieler Pflanzenzellen und Gefässe angetroffen wird;
g) eine dünne Stelle an einer Membran, z. B. getüpfelte Stellen in den Wandungen verholzter Pflanzenzellen;
h) eine locale Verdickung einer Membran, z. B. Pünktchen an der Oberfläche der Haare vieler Pflanzen.

19 Aus diesen Beispielen, welche noch mit vielen anderen vermehrt

Digitized by Google

werden könnten, ergiebt sich, dass bei oberflächlicher und flüchtiger Betrachtung die Phantasie grossen Spielraum hat, das Gesehene nach Willkür zu deuten. Dies zu verhüten, muss jede Untersuchung nach einem bestimmten Plane ausgeführt werden, so dass man nicht blos mit den Augen wahrnimmt, sondern sich auch von demjenigen, was man sieht, bestimmte Rechenschaft giebt. Folgende Regeln können dabei als Richtschnur dienen.

1) Zunächst kommt es auf eine zweckmässig gewählte Vergrösserung an. Manche greifen am liebsten sogleich nach den stärkeren Vergrösserungen, in der Meinung, sie würden um so mehr von einem Objecte wahrnehmen, in je stärkerer Vergrösserung sie dasselbe sehen. Nähme das optische Vermögen des Mikroskopes gleichmässig mit der Vergrösserung zu, dann würde dies auch in vielen Fällen wahr sein. Ich habe aber schon wiederholt das Irrige dieser Ansicht besprochen. Man gewinnt durch eine stärkere Vergrösserung weit weniger, als man bei flüchtiger Betrachtung glaubt, und für die meisten Beobachtungen leisten schwache und mittlere Vergrösserungen bei weitem die meisten Dienste. Wenn aber auch späterhin stärkere Vergrösserungen in Anwendung kommen müssen, so versäume man es gleichwohl nicht, zuerst schwächere zu nehmen, weil bei diesen das Gesichtsfeld ein grösseres ist. Man gewinnt dadurch zuerst eine allgemeine Uebersicht über das Ganze, und der Phantasie wird das immer etwas gefährliche Geschäft erspart, sich dieses Ganze aus den successiv wahrgenommenen Einzelnheiten zu construiren.

Wenn bei einer 500maligen Vergrösserung der Durchmesser des Gesichtsfeldes $^1/_3$ mm beträgt und bei dieser Vergrösserung ein Object betrachtet wird, welches 5 mm Breite und Länge hat, dann kann nicht mehr als $^1/_{225}$ dieses Objectes auf Einmal übersehen werden. Soll es ganz überblickt werden, so muss 225 Male immer wieder ein neuer Abschnitt desselben ins Gesichtsfeld gebracht werden, und auch die lebendigste Phantasie ist nicht im Staude, diese 225 einzelnen Eindrücke späterhin wieder zu vereinigen, wenn sie nicht durch einen vorausgegangenen allgemeinen Ueberblick unterstützt wird.

2) Dem Objecte, welches mikroskopisch betrachtet werden soll, verschaffe man, so weit seine Beschaffenheit es zulässt, eine ebene Oberfläche; je ebener die Oberfläche ist, ein um so grösserer Theil derselben lässt sich auf Einmal scharf übersehen. Die hierzu dienenden Mittel sollen späterhin zur Sprache kommen.

3) Man beschaue den nämlichen Gegenstand in verschiedenen Richtungen. Wenn kleine Objecte in einer Flüssigkeit sich bewegen, so erzeugt man in der letzteren eine Strömung, wodurch die verschiedenen Seiten des Objectes nach einander in das Gesichtsfeld kommen.

Digitized by Google

Nur auf diese Weise ist es z. B. möglich, eine kleine runde Scheibe von einem Kügelchen oder Bläschen zu unterscheiden, oder darüber ins Reine zu kommen, ob ein kleineres Körperchen sich innerhalb des grösseren oder nur an dessen Oberfläche befindet, oder die Formen kleiner Krystalle zu erkennen u. s. w.

Bei grösseren Objecten, oder wenn die Theile mitten in einem festen Gewebe befindlich sind oder dasselbe zusammensetzen, muss man dünne Schnitte anfertigen, wobei auf drei Hauptrichtungen Rücksicht genommen worden kann. Doch versteht es sich von selbst, dass Schnitte in anderer mehr schiefer Richtung nicht ausgeschlossen sind. Auch haben die Körper nicht immer eine so regelmässige Form, dass man sich streng an die droi Richtungen halten könnte, nämlich:

a) die quere, senkrecht auf die gedachte Axe des Objectes, wodurch man Querdurchschnitte bekommt;

b) die längslaufende, so weit möglich durch die Mitte des Objectes, wodurch man radiale oder Axendurchschnitte erhält;

c) parallel einer Tangente der Oberfläche, was Tangentialdurchschnitte oder Chordendurchschnitte giebt.

Verfährt man auf solche Weise methodisch und kommen immer die nämlichen Theile, aber in verschiedenen Richtungen getrennt, zur Ansicht, so muss man wohl allmälig zu einer sicheren Vorstellung gelangen, es müssten denn die beobachteten Theile so klein sein, dass ihre Sichtbarkeit den Grenzen des optischen Vermögens des Mikroskopes nahe läge, was allerdings manchmal vorkommt, wenn es sich z. B. darum handelt, ganz dünne Röhrchen von Fasern, sehr kleine Körnchen oder Kügelchen von Bläschen u. s. w. zu unterscheiden.

4) Wenn die Beschaffenheit des Objectes es zulässt, so sucht man die Theile, nachdem man dieselben im Zusammenhange betrachtet hat, so viel möglich zu isoliren, weil das Auf- und Durcheinanderliegen der Theile vielfach ihre genaue Wahrnehmung und ihre Deutung erschwert.

5) Man muss für passende Beleuchtung sorgen und damit auf mehrfache Weise abwechseln, worüber im ersten Bande §. 202 u. flgde. das Nöthige angegeben worden ist.

6) Man mache es sich zur Regel, alle organischen Körper, so weit es möglich ist, im frischen Zustande zu untersuchen, und zwar möglichst unter den gleichen Umständen, worin sie sich im lebenden Körper befinden. Aus der Untersuchung von Körpern z. B., die in Weingeist aufbewahrt sind, darf man nur dann auf deren Zustand während des Lebens schliessen, wenn man durch frühere Untersuchungen darüber belehrt ist, dass die untersuchten Gewebe durch den Weingeist keine Veränderung erleiden. Selbst das Wasser, womit man die Objecte meistens zu tränken

pflegt, ist keineswegs immer als ein ganz unschuldiger Zusatz zu betrachten. Blutkörperchen werden in ein Paar Augenblicken ganz darin verändert. Wenn also einem organischen Körper Flüssigkeit zugefügt werden muss, so wählt man immer am besten eine solche, welche jener möglichst nahe kommt, womit das Object während des Lebens in Berührung steht. Für zarte vegetabilische Theile nimmt man eine Zucker- oder Gummisolution, für thierische verdünntes Eiweiss, Blutserum, Humor vitreus oder Liquor Amnii. Um diese Flüssigkeiten vor dem Verderben zu schützen, empfehlen Landolt, sowie Max Schultze, ein Stückchen Kampfer darauf zu bringen.

7) Hat man einen Körper erst frisch und in unverändertem Zustande kennen gelernt, so bieten sich weiterhin in der Compression und in anderen physikalischen und chemischen Einwirkungen grosse Hülfsmittel dar, um noch bestehende Zweifel zu lösen, oder um Einzelnheiten zur Ansicht zu bringen, die früher gar nicht oder nur unvollständig gesehen wurden.

Im Ganzen suche der Beobachter seine Untersuchung stets so einzurichten, dass seine Phantasie nur die Rolle des Combinationsvermögens einnimmt. So lange noch die Wahl zwischen zwei Möglichkeiten besteht, schärfe er seinen Verstand, neue Mittel ausfindig zu machen, die zu überzeugender Klarheit führen können, und wenn gleichwohl noch Zweifel übrig bleiben, so lasse er diese bei sich selbst und bei anderen bestehen. Nur falsche Scham oder etwas Schlimmeres können ihn hiervon abhalten. Denn wer eifrig nach der Wahrheit strebt, und wer es ehrlich mit der Wissenschaft meint, der wird es sich nicht zur Schande rechnen, wenn er zuletzt bekennen muss, statt unumstösslicher Wahrheit habe er nur Wahrscheinlichkeit gefunden. Der erste Schritt zum Wissen besteht darin, dass wir erkennen, noch nichts zu wissen.

Es gab eine Zeit, wo jede mikroskopische Beobachtung mit Miss- 20
trauen aufgenommen wurde, und es fehlte auch in der That nicht an Gründen für ein solches Misstrauen. Ich erinnere nur an die Blutkörperchen, die man als runde ölige Kügelchen beschrieben hat, als Kügelchen, die wieder aus kleineren Kügelchen bestehen sollten, als runde Bläschen, als Ringe, als platte, schwach concave, solide Scheibchen, als hohle Scheiben mit einem Kerne im Inneren, als Bläschen, die ein Fäserchen enthalten; auch wurde der Farbstoff derselben bald in die Hülle, bald in den Kern, bald wieder zwischen Hülle und Kern verlegt. Selbst die Anwesenheit einer Hülle steht noch keineswegs fest über jeden Zweifel erhoben. Gelangte man nun zu so verschiedenen Resultaten hinsichtlich der Beschaffenheit von Körperchen, die bei allen Thieren derselben Art einander fast ganz gleich sind, und die selbst bei verschiedenartigen Thieren grossentheils noch einen übereinstimmenden

Digitized by Google

Bau besitzen, so war es wohl verzeihlich, wenn der wissenschaftliche Werth der mikroskopischen Leistungen mehr und mehr in Zweifel gezogen wurde, bis es endlich fast Mode wurde, mit einer gewissen Missachtung auf jene herabzusehen, die jenes trügerische Instrument noch fernerhin zu benutzen fortfuhren.

Jetzt ist es freilich anders. Man hat einsehen gelernt, dass die sogenannten mikroskopischen Irrthümer keine solchen sind, die mit dem Instrumente selbst im Zusammenhange stehen, sondern dass sie dem Beobachter zur Last fallen, der das Beobachtete verkehrt deutete. Solche Irrthümer hat aber die mikroskopische Untersuchung mit jeder anderen gemein, die sich auf sinnliche Beobachtung stützt. Wir sind und bleiben gebrechliche Menschen, deren Sinnesorgane den Eindruck aufnehmen, ohne über dessen Realität zu entscheiden, ob er nämlich von einem wirklichen Objecte oder von einer Fata morgana herrührt, ja selbst wohl von reinen Phantasien, wenn nämlich die den Eindruck fortleitenden Nerven durch psychische oder durch innere somatische Ursachen sich in einem derartigen Zustande befinden, wie er bei einem wirklichen Sinneseindrucke besteht.

Wer jede mikroskopische Beobachtung deshalb für unzuverlässig erklären wollte, weil die von verschiedenen Beobachtern gegebenen Beschreibungen des nämlichen Objectes einander widersprechen, der müsste auch jeder mit unbewaffnetem Auge vorgenommenen Untersuchung misstrauen, weil die Beschreibungen, welche verschiedene Reisende von dem nämlichen Landstriche geben, manchmal auch so sehr von einander abweichend sind, dass man nicht die nämlichen Sachen und Gegenstände darin wiederfinden kann. Wer ferner dem Mikroskope die Irrthümer vorwerfen wollte, welche daraus entsprungen sind, dass ganz Unbefugte es angewendet haben, die weder mit dem Instrumente selbst, noch mit den Eigenthümlichkeiten der mikroskopischen Beobachtung vertraut waren, der würde nicht weniger verkehrt handeln, als wer es der Sternkunde zur Last legen wollte, dass Unkundige nach dem blossen Zeugniss ihrer Augen den Himmel als eine blaue Kuppel ansehen, an welcher die Sonne und die Sterne auf- und niedergehen, während die Erde feststeht.

21 Das mikroskopische Sehen muss eben so gut erlernt werden, wie ein Kind oder ein Blindgeborener, der an einer Cataracte operirt wurde, mit blossem Auge zu sehen lernen muss. Um aus dem Eindrucke, welchen die Lichtstrahlen auf die Netzhaut und von hier aus auf das Gehirn machen, einen Schluss zu ziehen auf die Entfernung, die Gestalt und die übrigen Eigenschaften der Körper ausser uns, dazu ist Ueberlegung erforderlich, die allerdings in der späteren Lebenszeit eine meistens sehr kurze ist, weil Wahrnehmung und Deutung des Wahrgenommenen fast zusammenfallen und der Schluss, d. h. das Resultat der Wahrnehmung, in der Regel

Digitized by Google

richtig ist. Diese Richtigkeit ist aber abhängig von der Uebung des Sinnesorganes sowohl, als des Verstandes. Ein Kind wird noch Monate nach der Geburt nach dem Monde greifen wie nach jedem anderen näheren glänzenden Gegenstande; erst allmälig lernt es die Entfernungen beurtheilen, sowohl nach dem Gesichtswinkel, unter dem es die Körper sieht, als durch die Vergleichung mit anderen Gegenständen, die sich in ihrer Bahn befinden. Man bringe aber selbst den geübtesten Menschen in Verhältnisse, mit denen er bisher nicht vertraut war, einen Seemann z. B. oder einen Bewohner des Tieflandes in eine Gebirgsgegend, so wird er sich in der Beurtheilung der Grösse und Entfernung der Gegenstände irren, und erst nach einiger Zeit wird er sich die hierzu nöthige Fertigkeit erworben haben.

Die Seele des Beobachters ist kein weisses Blatt, auf welches die 22
Sinnesorgane alles richtig Befundene aufzeichnen können, kein weiches Wachs, welches alle Eindrücke der Sinnesorgane unverändert aufnimmt; sie hat vielmehr von der ersten Jugend an eine Reihe von Eindrücken empfangen, die ihr Eigenthum geworden sind und die ihrerseits wiederum modificirend auf die späteren sinnlichen Eindrücke einwirken. Die Seele empfängt aber nicht blos, sie vergleicht auch und beurtheilt, und in dem Maasse, als die früher erhaltenen Eindrücke durch Mannigfaltigkeit und Genauigkeit sich auszeichnen, wird auch deren Vergleichung mit den späteren Eindrücken gründlicher ausfallen, das Urtheil ein richtigeres sein. Wahrnehmung im höheren Sinne des Wortes und Beurtheilung des Wahrgenommenen lassen sich demnach nicht von einander sondern.

Mögen nun aber die Sinnesorgane noch so scharf sein, mögen die Schlüsse aus der durch frühere Eindrücke gewonnenen Kenntniss noch so richtig sein, die Wahrnehmung selbst kann ein unwahres Resultat geben. Denken wir uns z. B. den Bewohner des Binnenlandes zum ersten Male am Ufer der See, und zwar in dem Augenblicke, wo sich am Horizonte die Erscheinungen der Fata morgana kund gehen. Er erblickt Häuser, Kirchen, Thürme, und diese Eindrücke mit früheren vergleichend kommt er zu dem für seinen besonderen Zustand ganz logischen Schlusse, dass sich daselbst eine Stadt befindet; er irret aber, und zwar deswegen, weil er Eindrücke unter einander vergleicht, die mit einander nicht vergleichbar sind.

Eben so steht es auch mit jenem, der zum ersten Male durchs Mikroskop sieht. Er erhält durch dasselbe einen Gesichtseindruck, der für den Geübten durchaus nicht trügerisch ist, vielmehr von demselben mit gleicher Sicherheit und Leichtigkeit gedeutet wird, wie jeder andere durchs blosse Auge erhaltene Eindruck. Anders verhält es sich bei ihm: aus dem Wahrgenommenen schliesst er auf Uebereinstimmung mit dem,

was er mit blossem Auge auf solche Weise zn sehen gewohnt ist. Alle undurchsichtigen Objecte erscheinen schwarz, wenn sie gegen das Licht gehalten werden: sieht er nun im Mikroskope eine mit schwarzer Masse erfüllte Höhlung, so kommt er zu dem Schlusse, dass sich an jener Stelle wirklich eine schwarze Substanz befindet, oder dass es eine feste undurchsichtige Masse ist. Später entdeckt erdann auf die eine oder auf die andere Weise, dass jene undurchsichtige Stelle nichts anderes als Luft ist, und nun kommt er zu dem logisch richtigen Schlusse, dass Luft, welche dnrchs Mikroskop im vergrösserten Maassstabe gesehen wird, ihre Durchsichtigkeit verliert. Hätte er vorher nachgedacht über den Gang der Lichtstrahlen in durchsichtigen Körpern von einer bestimmten Form, auf welche blos durchfallendes Licht wirkt, so würde er in diese Irrthümer gar nicht gerathen sein.

23 Ich will mich hier nicht weiter auslassen über diese und jene Eigenthümlichkeiten der mikroskopischen Beobachtung, von denen im folgenden Abschnitte im Besonderen die Rede sein wird. Doch muss ich noch auf ein Paar andere gröbere Veranlassungen zu Irrthum aufmerksam machen, die laut der Erfahrung nicht immer vermieden werden, weil man sie eben nicht kennt.

So verwirrt man das Wahrnehmungsobject mit anderen Dingen, die sich beim mikroskopischen Sehen gleichzeitig im Gesichtsfelde befinden. Dahin gehören zunächst Kritzel, Stäubchen und andere Unreinigkeiten auf der Oberfläche der Mikroskopgläser. Dieselben nehmen sich verschiedenartig aus je nach der Stelle, wo sie vorkommen. Wenn sie bei einem zusammengesetzten Mikroskope an der Oberfläche der Objectivlinsen vorkommen, dann bemerkt man sie nicht im Gesichtsfelde, sondern der Einfluss jedes Stäubchens, Grübchens oder Kritzels macht sich nur in einer entsprechenden Abnahme der Lichtstärke des Bildes bemerklich. Sitzen sie hingegen an den Gläsern des Oculares, dann werden sie leicht wahrgenommen, und zwar wegen der Nähe des Auges vergrössert, jedoch ohne scharfe Contouren. Nur beim Ramsden'schen Oculare sieht man alles Unsaubere an der Unterfläche des unteren Glases auch ziemlich scharf gezeichnet, weil diese Fläche dem Brennpunkte des oberen Glases ganz nahe ist. Man gewöhne sich deshalb daran, vor jedesmaligem Gebrauche des Mikroskopes die Gläser des Objectives sowohl als des Oculares zu untersuchen und sie zu reinigen, wenn ihre Oberflächen nicht ganz sauber sind. Dass man eine Beschädigung der Gläser dabei nicht zu besorgen hat, diese Reinigung vielmehr erforderlich ist, um ein Mikroskop in gutem Zustande zu erhalten, das habe ich schon früher (I, §. 234) dargelegt.

Es kommt wohl vor, dass unerachtet wiederholten Abwischens der Gläser das ganze Gesichtsfeld immer aufs Neue trüb nnd nebelartig sich

darstellt. Das geschieht im Winter, wenn das Mikroskop aus einem kalten Zimmer in einen erwärmten Raum gebracht wird. Es muss dann einige Zeit gewartet werden, bis die Linsen die Temperatur des Zimmers angenommen haben, weil sich sonst fortwährend von Neuem Wasserdunst auf dieselben niederschlägt.

Zu den fremdartigen Bildern, die manchmal im Gesichtsfelde erscheinen, gehören auch die entoptischen Erscheinungen, von denen ich früher (I, §. 102 bis 104) gesprochen habe, zugleich die Mittel angebend, wodurch man sich mit ihnen bekannt macht. Vorzüglich die *Mouches volantes* sind bei schwierigen Untersuchungen nicht selten hinderlich. Eine Verwechselung mit Objecten, die unter dem Mikroskope liegen, ist für jenen, der diese Erscheinung kennt, allerdings nicht leicht möglich, und es kann eine solche auch leicht verhütet werden, wenn man den Abstand des Objectes vom Mikroskope abändert, was auf die *Mouches volantes* nicht den geringsten Einfluss ausübt. Beim Beobachten sehr kleiner und durchsichtiger Objecte wirken sie aber manchmal störend auf deren Sichtbarkeit ein. Um sie dann wenigstens vorübergehend zum Verschwinden zu bringen, giebt es ein einfaches Mittel: man muss das Auge nach oben richten, damit Körper in der hinteren Augenkammer, welche diese Erscheinung veranlassen, aus der Augenaxe kommen und nach unten sinken. Wer diese *Mouches volantes* bei sich wahrnimmt (und wahrscheinlich ist dies bei allen in mehr oder weniger hohem Grade der Fall), der braucht sich übrigens deshalb nicht zu ängstigen; am allerwenigsten aber darf er ihr Auftreten dem Gebrauche des Mikroskopes aufbürden und dasselbe aus diesem Grunde verbannen. Das Mikroskop trägt nicht die Schuld ihres Auftretens, und sie nehmen auch nicht an Menge zu durchs mikroskopische Sehen. Die Furcht, welche von Manchen (Schleiden, *Grundzüge d. wiss. Botanik.* I, S. 87) in Betreff der *Mouches volantes* geäussert wurde, entbehrt jedes Grundes und ist blos aus der falschen Ansicht entsprungen, als seien es die Schatten der Blutkörperchen in den Capillaren der Netzhaut. Nach dem, was früher über die Ursachen der *Mouches volantes* gesagt worden ist, bedarf aber diese Ansicht keiner Widerlegung. Aus eigener Erfahrung kann ich hier noch hinzufügen, dass ich seit vielen Jahren in beiden Augen runde sowohl als fadenartige *Mouches volantes* bemerkt habe, ohne bei dem täglichen stundenlangen Gebrauche des Mikroskopes Störungen davon zu erleiden oder etwa eine Vermehrung derselben zu beobachten. 24

Ausser den Körperchen im Auge des Beobachters oder auf der Oberfläche der Linsen können auch noch solche in Irrthum führen, die sich zugleich mit dem Untersuchungsobjecte unter dem Mikroskope befinden. 25

Bei der Untersuchung werden Glasplättchen benutzt, auf welche die

Digitized by Google

Objecte zu liegen kommen und womit man sie auch wieder bedeckt; ausserdem kommen auch fortwährend verschiedene Instrnmente, wie Nadeln, Messer, Scheeren n. dergl. zum Znbereiten der Objecte in Gebrauch, und letztere werden noch mit Wasser oder mit sonst einer Flüssigkeit benetzt. Nun ist es klar, dass auf diese Weise sehr leicht Theilchen, die dem blossen Ange entgehen, z. B. die im Zimmer schwebenden Staubtheilchen, auf die eine oder die andere Weise mit dem Objecte sich vereinigen können. Es ist deshalb gut, wenn der mikroskopische Beobachter sich mit den Substanzen bekannt macht, die in der Atmosphäre seines gewöhnlichen Arbeitszimmers vorkommen, und die natürlich verschiedenartige sind, je nachdem der Boden bedeckt ist oder nicht, so wie auch nach der Art der Wandbekleidung und sonstiger im Zimmer enthaltener Gegenstände. Gewöhnlich werden in dieser Atmosphäre einige Körperchen, wie kleine Fäserchen, Härchen u. s. w., constant vorkommen, die sich später leicht wieder als fremde Bestandtheile erkennen lassen.

Beim Benutzen der Glasplättchen muss vor allen Dingen darauf gesehen werden, dass sie der Reinigung unterliegen, bevor irgend ein Object auf denselben unters Mikroskop gebracht wird. Ganz dasselbe gilt auch von den Deckplättchen. Bisweilen nimmt man zu den letzteren Glimmerblättchen, und das hat den Vorzug, dass man sich sehr dünne Deckplättchen um geringeren Preis verschaffen kann. Dann muss man sich aber im Voraus mit deu eigenthümlichen kleinen Rissen bekannt machen, die auch im besten Glimmer nur selten ganz fehlen und die manchmal in solchen Richtungen auf einander stossen, dass dadurch krystallinische Blättchen zum Vorschein kommen.

Beim Auswählen des Glases muss ausserdem mit einiger Vorsicht verfahren werden. Nur jenes ist brauchbar, welches bei vorgängiger Prüfung mit dem Mikroskope ganz reine Oberflächen gezeigt hat. Nicht sowohl die grösseren Risse und Unebenheiten sind hier schädlich, denn diese werden leicht genug erkannt, sondern vor Allem die kleinen, dem blossen Auge nicht erkennbaren feinen Streifchen oder Fleckchen. So kommen manchmal am Spiegelglase ganz kleine rothe Fleckchen vor, meistens von rundlicher Gestalt, die nichts anders sind als Eisenoxyd, das sich während des Polirens in die Höhlen der Luftbläschen absetzte, welche durch das Schleifen geöffnet worden waren. Solche rothe Fleckchen oder Punkte sind einmal von einem sonst sehr geübten Mikroskopiker als Bestandtheile der organischen Gewebe angesehen und als solche gezeichnet worden. Aber auch noch gröbere Verwechselungen haben stattgefunden: Amylumkörner wurden z. B. als charakteristische Bestandtheile der Sputa bei Phthisikern beschrieben nnd abgebildet, und von anderen wurden wieder Fleischfasern und ähnliche, den Spnta znfällig beigemischte Speisereste als solche charakteristische Bestandtheile bezeichnet. Man hat ferner die Streifen, welche beim Durchschneiden harter oder

Digitized by Google

auch weicher, vorgängig getrockneter Substanzen auf der Schnittfläche jederzeit entstehen und die von den Unebenheiten des Messers herrühren, für Fasern an den Grenzlinien von Plättchen gehalten. Solche Irrthümer sind zu bedauern, weil sie bei einiger Aufmerksamkeit und Sachkenntniss leicht zu vermeiden gewesen wären. Sie beweisen aber nur, dass man bei der mikroskopischen Untersuchung, gleichwie bei jeder anderen, niemals die Sorgfalt weit genug treiben kann, um Alles zu entfernen, was dem zu untersuchenden Objecte fremd ist, oder was störend auf dasselbe einwirken kann, oder um doch wenigstens keine Verwechselung damit eintreten zu lassen, wenn jene Vorsicht nach der Natur der Sache nicht auszureichen vermag.

Digitized by Google

Zweiter Abschnitt.

Die mikroskopische Wahrnehmung und deren Eigenthümlichkeiten.

---

26 Im vorhergehenden Abschnitte habe ich angeführt, das mikroskopische Sehen müsse von Jenem, der noch nicht daran gewöhnt ist, eben so erlernt werden, wie das Kind oder der Blindgeborene, der an einer Cataracte operirt wurde, seine Augen zum Sehen zu verwenden lernen muss. Daraus folgere man aber nicht, dass das mikroskopische Sehen so ganz verschieden ist vom Sehen mit blossem Auge, oder dass viel Zeit und Anstrengung verlangt wird, bevor man sich die zu Beobachtungen nöthige Fertigkeit erworben hat. Man darf vielmehr unbedenklich behaupten, dass für jedes Kind in den ersten Lebensmonaten das Sehenlernen schwerer fällt, als wenn Jemand, der gute Augen hat und dieselben bereits gehörig zu gebrauchen versteht, durchs Mikroskop zu sehen lernen will.

Zudem ist es nicht wahr, dass man durchs Mikroskop die Dinge wirklich anders sieht, als mit blossem Auge. Der alleinige Unterschied liegt darin, dass beim mikroskopischen Sehen die Körper in der Regel sich unter solchen Umständen befinden, worin sie beim gewöhnlichen Sehen selten vorkommen.

27 Zuvörderst kommt hier in Betracht, dass es für die meisten mikroskopischen Untersuchungen erforderlich ist, die Objecte theilweise oder

vollkommen durchsichtig zu machen und alsdann bei durchfallendem Lichte zu untersuchen, weil man laut der Erfahrung auf diese Weise am besten in die feinere Zusammensetzung der Körper eindringen und Einzelnheiten wahrnehmen kann, die bei auffallendem Lichte viel schwieriger oder auch gar nicht zu erkennen sind, insofern die Menge der reflectirten Lichtstrahlen dabei zu niedrig ausfällt. Fast alle Wahrnehmungen mit blossem Auge werden nun aber bei letzterer Beleuchtungsart ausgeführt, und schon oben (I, §. 96) wurde erwähnt, dass die Gesichtseindrücke von den gewöhnlichen ganz abweichen und mit jenen bei der mikroskopischen Beobachtung übereinstimmen müssten, wenn durchsichtige Gegenstände blos bei durchfallendem Lichte betrachtet würden. Somit besteht kein wirklicher, sondern nur ein scheinbarer Unterschied, und man würde die Art, wie sich durchsichtige Objecte in Folge der Brechung, Reflexion oder Absorption der Lichtstrahlen im Gesichtsfelde des Mikroskopes darstellen, ganz nachmachen können, wenn man ähnliche, nur grössere Dinge, etwa Glaskugeln, Linsen, Röhren, Krystalle, Schaum von Seifenwasser u. dgl. in ein uudurchsichtiges Futteral brächte und dieses so gegen das Licht hielte, dass alles auffallende Licht ausgeschlossen würde.

Einen durchsichtigen Körper erkennt man unterm Mikroskope blos daran, dass ein Theil jener Strahlen, welche in das Gesichtsfeld eintreten, nicht zum Auge gelaugt. Bei solcheu durchsichtigen Körpern, die allen farbigen Strahlen einen gleichmässigen Durchtritt gestatten, ist die Sichtbarkeit der Objecte demnach abhängig: 1) von ihrer Form; 2) von der Ungleichheit des Brechungsvermögens jener Substanz, woraus der Körper besteht, nnd jenes Mediums, woriu derselbe befindlich ist. Hier gilt Alles, was bereits früher (I, §. 96 — 98) hierüber angegeben worden ist. Es sind daher nur diese beiden Umstände in ihrem Verhalten zu den mikroskopischen Objecten in Betrachtung zu ziehen.

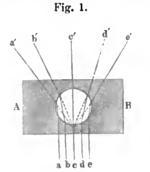
Die Brechung der Lichtstrahlen in durchscheinenden Körpern, auf 28
die sie nicht senkrecht auffallen, ist in dem Abschnitte über die Beleuchtung mikroskopischer Gegenstände in allgemeinen Zügen auseinander gesetzt worden. Das dort Gesagte bedarf aber noch einer näheren Ausführung, wenn es auf jene Objecte passen soll, womit sich der Mikroskopiker in deu meisten Fällen beschäftigt, nämlich auf die organischen. Diese Objecte als Ganzes, gleichwie in den einzelnen Theilen, werden meistens von gebogenen Flächen umschlossen. Um eine richtige Vorstellung davon zu bekommen, wie dergleichen Objecte im hellen Gesichtsfelde des Mikroskopes sich verhalten, wollen wir zunächst die Erscheinungen an Luftblasen, so wie an Fett- oder Oelkügelchen in Betrachtung ziehen. Zudem gehören diese beiden Objecte zu den verbreitetsten mikroskopischen Dingen, und einem anfangenden Mikroskopiker, der sich über die Erscheinungen bei durchfallendem Lichte gründlich unterrichten

Digitized by Google

will, kann ich keinen besseren Rath ertheilen, als dass er mit dem Studium dieser beiderlei Objecte anfängt. Man bekommt Luftblasen von verschiedenartiger Grösse, wenn man einen Tropfen dicker Flüssigkeit, etwa Gummilösung, auf einem Glastäfelchen einige Augenblicke mit einem Glasstäbchen umrührt, und Fettkügelchen verschafft man sich dadurch, dass man ein fettes Oel in einem Fläschchen mit Wasser stark umschüttelt nnd von diesem Gemenge einen Tropfen auf ein Glastäfelchen giesst.

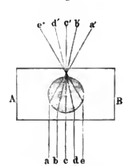
Luftblasen wie Oeltröpfchen bilden unterm Mikroskope runde Körper mit scharfen Contouren; sie sind dunkel in der Nähe des Randes, und nur ihre Mitte ist hell. Zum Verständniss dieser Erscheinung können die Figuren 1 und 2 beitragen. In Fig. 1 ist eine Luftblase dargestellt,

Fig. 1.



Lichtstrahlen, durch ein Luftbläschen tretend.

Fig. 2.



Lichtstrahlen, durch ein Oelkügelchen tretend.

welche von einem stärker brechendem Medium AB, von Glas, Wasser und dergleichen eingeschlossen wird. In Fig. 2 soll ein Fett- oder Oeltröpfchen von einem schwächer brechenden Medium AB umgeben sein. Es ist in den Figuren angegeben, welchen Weg die senkrecht auffallenden parallelen Strahlen *abcde* nehmen, wenn sie durch das Luftbläschen oder durch das Fetttröpfchen gedrungen sind. Nur der mittelste Strahl *c* setzt in beiden Figuren seinen Weg ohne Brechung fort nnd erreicht das Auge; die an der Peripherie auffallenden Strahlen dagegen weichen zu sehr von ihrer Bahn ab (im Fetttröpfchen jedoch im umgekehrten Sinne als bei dem Luftbläschen), als dass sie in das Ange gelangen könnten. Die Peripherie oder die Ränder erscheinen deshalb dunkel, und der dunkle Rand ist um so grösser, je mehr sich das Brechungsvermögen von jenem des umgebenden Mediums unterscheidet. Deshalb ist bei den Luftbläschen dieser dunkele Theil am breitesten, weil das Brechungsvermögen von Wasser und Luft mehr differirt als jenes von Wasser und Fett.

Der Einfachheit halber ist in den Figuren die Darstellung so gewählt, dass parallele Strahlen auf die Unterfläche treffen. Da ein Oel-

Digitized by Google

kügelchen als positive, ein Luftbläschen als negative Linse wirkt, so müssen sich die Strahlen dort in einem wahren Brennpunkte oberhalb des Kügelchens vereinigen, und hier lassen sich die austretenden Strahlen zu einem virtuellen Brennpunkte unterhalb des Luftbläschens verfolgen. Wurde nun das Mikroskop so eingestellt, dass der Umfang des Kügelchens oder Bläschens in Schärfe hervortritt, so sollte der Vereinigungspunkt der Strahlen dann zur Ansicht kommen, wenn man beim Oelkügelchen das Mikroskop höher schraubt, beim Luftbläschen dagegen dasselbe tiefer stellt; dabei müsste der dunkle Rand schmaler und schmaler werden, und jener Vereinigungspunkt endlich als ein Lichtpunkt hervortreten.

So verhält es sich indessen in der Wirklichkeit nicht. Der Spiegel, von dem die Lichtstrahlen ins Mikroskop reflectirt werden, befindet sich ziemlich nahe und jeder Punkt desselben entsendet divergirende Strahlenbündel. Diese vereinigen sich daher oberhalb des Oelkügelchens und unterhalb des Luftbläschens nicht in einem einzigen Punkte, sondern in vielen Punkten, die in einer etwas gekrümmten Ebene gelegen sind; so entsteht dann ein Bild des Spiegels, welches oberhalb oder unterhalb der brechenden kugelförmigen Oberfläche wahrgenommen wird. Gleichwie bei jeder anderen Linse hängt die Grösse dieses Bildes in beiden Fällen von zweierlei Verhältnissen ab, erstens von der Grösse des Spiegels, zweitens aber von dessen Abstande. Wird daher das zuerst scharf eingestellte Mikroskop beim Oelkügelchen tiefer, beim Luftbläschen dagegen höher geschraubt, so erfolgt in beiden Fällen ein Breiterwerden des Lichtbildes mit Verlust der scharfen Contouren, so dass bald nur noch das Centrum erleuchtet ist. Dieses erleuchtete Centrum kann man als ein Diffusionsbild der leuchtenden Spiegelfläche ansehen. So wird es aber auch klar, warum die relative Grösse des erleuchteten Centrums veränderlich ist und von Grösse und Entfernung des Spiegels abhängt, oder falls ein Diaphragma zwischen Spiegel und Objecttisch eingeschoben wird, von der Grösse und dem Abstande seiner Oeffnung. Von der Richtigkeit dieser Auffassung kann man sich leicht überzeugen, wenn ein grösserer Spiegel genommen wird, oder wenn man ein grosses Blatt weisses Papier auf den Spiegel legt. Für diese beiden Fälle giebt es ein Maximum, bis zu dem das erleuchtete Centrum sich ausbreitet und der dunkele Rand sich verschmälert. Wenn bei Oelkügelchen die erleuchtende Fläche möglichst gross ist, so bleibt nur ein sehr kleiner Theil des dunkelen Randes übrig, der ganz unmerklich in das erleuchtete Centrum übergeht. Ist es ein Luftbläschen, wo das Brechungsvermögen zwischen Luft und Wasser oder wässerigem Fluidum in weit höherem Grade differirt, dann bleibt ein grösserer Theil des dunkelen Randes übrig (bei einer Gummisolution etwa 0,7 des Radius des Luftbläschens) und dieser ist dabei auch schärfer abgegrenzt. Ueberdies zeigen sich in diesem dunkelen Rande auch noch helle Ringe in Folge innerer Reflexion an der gleich einem Hohl-



spiegelchen wirkenden Innenfläche des Luftbläschens, nnd davon kommt es, dass der Randtheil nirgends ganz schwarz, sondern mehr graulich sich darstellt. Das sieht man am besten, wenn das Mikroskop auf einer schwarzen Unterlage steht, deren Bild sich seitlich am centralen Theile des Luftbläschens ausprägt; es tritt dann der Contrast in der Erleuchtung des Randtheiles noch schärfer hervor.

Wird dem Beleuchtnngsapparate einc Linse oder ein Linsensystem zugefügt, so wird die Erscheinnng etwas modificirt, ohne jedoch in der Hauptsache einc Aenderung zu erleiden. Die Linse oder das Linsensystem zusammen mit der Luftblase oder mit dem Oeltröpfchen erzengen dann das Lnftbildchen, und man sieht leicht ein, dass dieses grösser oder kleiner sein wird, je nachdem die Linse oder das Linsensystem dem Objecte näher rückt oder sich weiter davon entfernt, und dass zugleich anch, wenn das Mikroskop auf den Umfang des Objectes eingestellt wird, das erhellte Centrum sich mehr ausbreitet oder aber verschmälert.

Benutzt man bei der nämlichen Beleuchtungsart Objective von verschiedener Brennweite und bewirkt man scharfe Einstellung auf den Umfang, so erscheint das erhellte Centrum um so grösser und die dnnkele Peripherie um so schmaler, je kürzer dic Brennweite des Objectives ist. Bei Oelkügelchen fällt dies noch mehr in die Augen, als bei Lnftblasen. Der Grund dieser Erscheinung darf nicht im veränderten Grössenverhältniss des Lichtbildchens und des Oelkügelchens gesncht werden, da dieses Verhältniss hierbei keinc Aenderung erfährt; ebensowenig kann die bedeutendere Grösse des Oeffnungswinkels stärker vergrössernder Systeme dabei in Betracht kommen, denn die absichtliche Vergrösserung oder Verkleinerung des Oeffnungswinkels des nämlichen Objectives übt keinen anderen Einfluss, als dass die Totalbeleuchtung des Gesichtsfeldes und die Belenchtung des Centrums vermehrt oder vermindert wird. Der wahre Grund dieser Erscheinung scheint der zu sein, dass bei kürzerer Brennweite des Objectives die verhältnissmässige Differenz zwischen der scharfen Einstellung anf den Umfang des Objectes nnd auf das Lichtbild grösser ausfällt, weshalb sich dann beim Senken des Objectives das Diffusionsbild des Lichtfleckes mehr ausbreitet.

Nach dem Voranstehenden lassen sich Luftbläschen und Oel- oder Fettkügelchen ohne Mühe von einander unterscheiden. Aber auch die anderen kugelförmigen durchsichtigen Körperchen stellen sich in dieser Weise dar. So besitzen z. B. viele anorganische Snbstanzen, wic kohlensaurer Kalk nnd anderc, die Eigenschaft, unter begünstigenden Umständen kleine, ganz rundo Kügelchen zu bilden (Harting, *Etude microscopique des précipités et de leurs métamorphoses* im *Bulletin de Neerlande.* 1840), die mit Fettkügelchen sehr viel Uebereinstimmung zeigen. In einem solchen Falle kommt man jedoch alsbald ins Klarc, wenn man auf das Plättchen, womit das Object bedeckt ist, einen schwachen Druck ausübt.

Digitized by Google

Kugelförmige Körperchen aus einer festen Substanz bleiben dabei unverändert oder sie bersten; Luftbläschen und Oeltröpfchen oder Fettkügelchen werden dadurch abgeplattet, der frühere schwarze Rand verschwindet ganz, man erkennt nur noch die Contouren, das übrige aber ist hell geworden, weil die Lichtstrahlen durch die ebenen Oberflächen unverändert zum Auge gelangen.

Haben die durchscheinenden Objecte eine vom Runden oder Kugelförmigen abweichende Gestalt, so erfolgt der Durchgang der Lichtstrahlen im Wesentlichen dennoch auf die nämliche Weise. Die Sichtbarkeit der Objecte beruht immer darauf, dass eine Anzahl Strahlen aus ihrer Bahn abgelenkt werden. Den Fall mit Krystallen ausgenommen, wo diese Ablenkung durch das Auffallen auf schiefe Flächen bedingt wird, lassen sich alle Fälle auf das Verhältniss der positiven und der negativen Linse zurückführen, als deren Repräsentanten Oelkügelchen und Luftbläschen besprochen worden sind. Natürlicher Weise ändert sich aber mit der veränderten Form des Objectes auch die Form der Lichtbilder des Spiegels oder der Oeffnung im Diaphragma, ganz aus dem gleichem Grunde, weshalb ein Glascylinder, der einer Lichtquelle zugekehrt ist, ein sehr in die Länge gezogenes Bild davon hervorbringt. Darum erscheint denn auch ein solider Draht, wie etwa eine elastische Faser, von zwei dunkelen Streifen begrenzt, die einen mittleren hellen Streifen einschliessen. Dieser mittlere Theil ist wirklich das langgestreckte Diffusionsbildchen der Beleuchtungsfläche. 29

Ist eine Faser hohl oder wird nur im Allgemeinen eine Höhlung von einer häutigen Wand umschlossen, und die Höhlung ist dabei mit Flüssigkeit erfüllt, die etwa einen gleichen Brechungsindex mit der umgebenden Flüssigkeit hat, dann wirkt eine solche Wandung ebenfalls in ähnlicher Weise auf den Gang der Strahlen: besitzt sie die gehörige Dicke, wie es bei den meisten Pflanzenzellen der Fall ist, so erkennt man daran zwei begrenzende dunkele Linien, die durch eine centrale helle Partie von einander geschieden sind.

Die lufthaltigen Knochenkörperchen, die Zahnkanälchen, die feinen Tracheenenden der Insecten u. s. w. wirken dagegen wie negative Linsen, ganz nach Art der Luftbläschen. Auch begreift sich leicht, dass alle Aushöhlungen oder Vertiefungen an der Oberfläche von Objecten, selbst wenn keine Luft darin enthalten ist, auf die nämliche Weise wirken. Sind jedoch derartige Objecte nicht von Luft, sondern von einer Flüssigkeit umgeben, so erscheint die dunkele Begrenzung schmaler und der helle mittlere Theil stellt sich grösser dar*).

*) Naegeli u. Schwendener (*Das Mikroskop* I, S. 185 und 196) haben die Erscheinungen, welche Luftblasen, Oel- oder Fettkügelchen, hohle Cylinder, Ober-

Das relative Verhältniss von Hell und Dunkel, wovon schliesslich die Wahrnehmbarkeit der Objecte bei durchfallendem Lichte bedingt ist, kann nach dem, was über den Gang der Lichtstrahlen durch Oelkügelchen und Luftbläschen aus einander gesetzt wurde, durch die Einrichtung des Beleuchtungsapparates und durch die Art und Weise seiner Anwendung eine erhebliche Veränderung erleiden. Eine Vergrösserung des Spiegels über gewisse Grenzen hinaus bietet keinerlei Vortheile, sondern wirkt eher schädlich, weil der dunkele Abschnitt sich verkleinert und das Helle im Gesammtbilde die Oberhand gewinnt. Daraus erklärt sich auch die vortheilhafte Wirkung der Diaphragmen. Sie nützen nicht blos dadurch, dass sie weniger Licht ins Gesichtsfeld gelangen lassen und damit die Irradiation beschränken, sondern auch dadurch, dass alle das Licht brechende Objecte einen breiteren dunkelen Rand bekommen, womit dann auch bis auf einen gewissen Punkt ihre Wahrnehmbarkeit zunimmt. Wird nur der Spiegel ohne Diaphragma zur Beleuchtung benutzt und hat zugleich der Objecttisch eine grosse Oeffnung, dann tragen alle seitlich vom Spiegel befindlichen Objecte bis auf grössere Entfernung hin zur Bildung des Lichtbildes bei, namentlich bei Luftblasen, und unter diesen Umständen ist es selbst nicht gleichgültig, wie die Tafel gefärbt ist, worauf das Mikroskop steht. Stellt man letzteres z. B. auf ein Blatt weises Papier, so nimmt die Sichtbarkeit der Objecte sehr auffällig ab. Die obige Bemerkung, dass bei stärkeren Objectiven die dunkelen Ränder sich verschmälern und der helle centrale Theil grösser wird, erhält ihre Bestätigung bei allen mehr oder weniger kugelförmigen und cylindrischen Objecten, wie Amylumkörner, Haare u. s. w. Dadurch kann sogar die Wahrnehmbarkeit sehr kleiner Objecte abnehmen, so dass durch veränderte Beleuchtungsweise zu Hülfe gekommen werden muss.

Bisher war blos von der Wahrnehmbarkeit durchscheinender Objecte bei centrischer Beleuchtung die Rede. Bei schief einfallendem Lichte ändert sich die Vertheilung von Hell und Dunkel. Für alle jene Fälle,

---

flächen mit alternirenden Vertiefungen bei durchfallendem Lichte unterm Mikroskope darbieten, ausführlich abgehandelt und mathematisch begründet. Ich gebe gern zu, dass eine solche Entwickelung vom mathematisch physikalischen Standpunkte aus ihr besonderes Interesse hat, muss aber glauben, es sei auch auf einem weniger weitschweifigen Wege dasjenige deutlich zu machen, worauf es hier eigentlich ankommt, dass nämlich die Sichtbarkeit der Objecte unterm Mikroskope bei durchfallendem Lichte von einer Abweichung der die durchscheinenden Körper durchsetzenden Lichtstrahlen bedingt wird. Uebrigens kann ich mit den genannten Autoren nicht einverstanden sein, wenn sie die Grösse des hellen centralen Theiles von Luftblasen, Oelkügelchen und cylindrischen Objecten mit der zunehmenden Grösse des Oeffnungswinkels des Objectives wachsen lassen. Ich habe einige auf diesen Punkt bezügliche Beobachtungen und Messungen ausgeführt und keinen Unterschied finden können, wenn auch die Oeffnung des nämlichen Objectives durch ein auf der untersten Linse angebrachtes Diaphragma verkleinert wurde. Ist meine oben ausgesprochene Ansicht richtig, dass die Grösse des hellen Theiles von der Grösse und vom Abstande der das Licht reflectirenden Fläche oder von der Oeffnung im Diaphragma abhängt, dann kann auch die Oeffnung des Objectives einen solchen Einfluss nicht üben.

wo das Licht durch gebogene Oberflächen tritt, eignen sich Oeltröpfchen und Luftbläschen auch wieder am besten, die Erscheinung aufzuklären. In beiden Fällen erfolgt eine Verrückung des Lichtbildes, so dass dasselbe bei Oeltröpfchen von der Lichtquelle, z. B. vom excentrisch gestellten Spiegel, sich entfernt, bei Luftbläschen dagegen sich dieser Lichtquelle nähert. Unterm zusammengesetzten Mikroskope gestaltet sich die Sache natürlicher Weise auf umgekehrte Art. Die Grösse des hellen Abschnittes bleibt daher bei nicht allzu schiefer Stellung des Spiegels die nämliche, der dunkele Rand aber verbreitert sich auf der einen Seite, und verschmälert sich auf der anderen Seite. Bei einer bestimmten Stellung des Spiegels ist die eine Hälfte des Oelbläschens ganz hell, die andere Hälfte ganz dunkel. Steigert man dann die Schiefstellung des Spiegels, so wird die dunkele Hälfte immer breiter, die helle Hälfte immer schmaler, bis zuletzt das ganze Kügelchen dunkel erscheint. So verhält es sich aber auch in allen anderen Fällen, wo die Objecte oder einzelne Theile davon einen derartigen Einfluss auf den Gang der Lichtstrahlen üben, und gerade in dem einseitigen Breiterwerden des dunkelen Theiles liegt der Grund, weshalb manche schwer sichtbare Einzelnheiten bei dieser Beleuchtungsweise sich am besten darstellen. Aus dem Gange der Erscheinungen ist aber auch zugleich zu entnehmen, dass nicht allemal die schiefste Stellung des Spiegels den Vorzug verdient, sondern jene, wobei Hell und Dunkel auf die für die Sichtbarkeit vortheilhafteste Weise sich vertheilen, und das variirt natürlich nach der Art und der Gestaltung der Objecte.

Manchmal sind Luftbläschen, Fettkügelchen oder andere das Licht stark brechende Substanzen in Höhlungen enthalten, und wenn mehrere solche Höhlen über einander liegen, so dass sie einander zum Theil decken, dann bemerkt man nichts mehr von dem hellen Raume, der sonst in den Kügelchen und Bläschen sichtbar wird, vielmehr erscheint das Ganze dunkel und schwarz, weil kein einziger Lichtstrahl seinen Weg ungebrochen fortsetzen kann. Unter den vegetabilischen Geweben kommt dies z. B. bei den luftführenden, noch im Gefässbündel enthaltenen Spiralgefässen vor, sowie bei den Athmungshöhlen unterhalb der Stomata; von animalischen Geweben gehören hierher die mit Luft gefüllten Markzellen der Haare und der Federn, die Talgdrüschen der Haare, die Meibom'schen Drüsen der Augenlider u. s. w., in denen fettige Substanzen eingeschlossen sind. Dass man es hier nicht mit wirklichen schwarzen Massen zu thun hat, davon überzeugt man sich sogleich, wenn das durchfallende Licht mit auffallendem vertauscht wird: fettige Substanzen zeigen dann ihre eigenthümliche Farbe, die meistens gelbweiss ist, fein zertheilte Luft aber erscheint hellweiss und in Folge der stärkern Reflexion glänzend. Uebrigens müssen in derartigen Fällen oftmals chemische Mittel angewendet werden, von denen später die Rede sein wird. 30

31 Aus §. 29 erhellt, dass die Sichtbarkeit der Objecte bei durchfallendem Lichte gar sehr durch ihre Form bestimmt wird; aber auch die Verschiedenheit im Brechungsvermögen des umgebenden Mediums ist darauf von Einfluss. Dieser Punkt erfordert eine nähere Betrachtung, weil er für die mikroskopische Beobachtung ungemein wichtig ist.

Betrachtet man verschiedene Objecte unter Wasser durchs Mikroskop, so wird man alsbald finden, dass manche, wenn sie auch gleichgestaltet sind mit den übrigen, nichtsdestoweniger durch dunklere Contouren sich auszeichnen. Sehr in die Augen fallend ist dieser Unterschied z. B. zwischen den sogenannten elastischen Fasern und den Fasern des Bindegewebes, der Sehnen u. s. w., zwischen denen jene vorkommen. Ein etwas geübter Beobachter erkennt die erstere Art von Fasern sogar augenblicklich an dieser Eigenschaft. Elastische Fasern sind deshalb schon bei einer Vergrösserung zu unterscheiden, wo von gleich dicken Bindegewebsfasern noch keine Spur zu sehen ist. Wäre nun eine Flüssigkeit ausfindig zu machen, deren Brechungsvermögen gerade um so viel von jenem der Bindegewebsfasern differirte, als das Brechungsvermögen des Wassers von jenem der elastischen Fasern differirt, dann würden ohne Zweifel die ersteren darin gleich scharf und deutlich gesehen werden, als die letzteren jetzt im Wasser erscheinen. Die Entdeckung einer solchen Flüssigkeit, die zugleich den organischen Geweben keinen Schaden brächte, würde ein sehr grosser Gewinn für die mikroskopische Beobachtung sein; wir würden dadurch wahrscheinlich in den Stand gesetzt werden, Besonderheiten wahrzunehmen, welche dem Auge jetzt entgehen, weil die Differenz zwischen dem Brechungsvermögen der untersuchten Körper und des Wassers, als der am schwächsten brechbaren unter den bekannten Flüssigkeiten, zu gering ist und somit die Lichtstrahlen keine merkliche Ablenkung erfahren.

Das Einzige, was in dieser Hinsicht geschehen kann, besteht darin, dass man die Gegenstände von Luft umgeben, d. h. trocken untersucht. Oftmals freilich ist dieses Hülfsmittel nicht anwendbar, weil die meisten organischen Substanzen durch Eintrocknen ihre Form zu sehr verändern; es giebt aber Fälle, wo wir uns desselben mit Nutzen bedienen können. Dass wirklich auf diese Weise Besonderheiten zur Ansicht kommen können, die sonst nicht in die Augen fallen, davon liefern die Schüppchen der Insecten, namentlich die als Probeobjecte benutzten (I, §. 240), ein sprechendes Beispiel. Dieselben werden gewöhnlich trocken und in der Luft liegend untersucht, wo man dann die längslaufenden und querlaufenden Streifen unterscheidet. Werden sie jedoch mit Wasser befeuchtet, so entdeckt man von den letzteren oftmals keine Spur mehr, und die ersteren sind viel undeutlicher geworden.

Das Nämliche begegnet uns auch, nur in umgekehrter Weise, bei der Untersuchung mancher organischer Substanzen, die sich dazu eignen.

So sind z. B. die zarten und sehr durchsichtigen Cilien mancher Infusorien viel besser sichtbar nach dem Eintrocknen, ebenso die feinen Streifen auf den Kieselpanzern mancher Diatomeen. Gleiches gilt von den Spermatozoen, namentlich jenen der Tritonarten, die einen eigenthümlichen spiralig um den Körper gewundenen Anhang besitzen. Dieser Anhang ist eine ganz dünne zarte Membran und unter Wasser so durchsichtig, dass man ihn alsdann nur mit einem ganz vorzüglichen Mikroskope wahrnehmen kann. Sind aber die Spermatozoen auf ein Glasplättchen aufgetrocknet, dann ist jener Anhang sehr leicht zu erkennen.

Wie es von Wichtigkeit sein würde, eine Flüssigkeit zu benutzen, 32
deren Brechungsindex unter jenem des Wassers steht, so ist auch die Anwendung von Flüssigkeiten, welche das Licht stärker brechen als Wasser, deshalb sehr erwünscht, weil wir dadurch in den Stand gesetzt werden, einzelne Objecte durchsichtig zu machen, die in Luft oder Wasser gar nicht oder doch wenigstens in zu schwachem Maasse durchsichtig sind, als dass ihre zusammensetzenden Theile gut unterschieden werden können. Glücklicher Weise bietet sich hier eine ziemliche Auswahl, und es kommt blos darauf an jene Flüssigkeit zu wählen, welche dem Zwecke am besten entspricht, dass sie die Durchsichtigkeit genugsam erhöht, ohne den Besonderheiten, die sichtbar gemacht werden sollen, Abbruch zu thun, und dass sie auch dem zu untersuchenden Objecte keinen Schaden bringt. Für organische Körper im feuchten Zustande können mehr oder weniger concentrirte Auflösungen von Gummi, von Eiweiss, von Zucker, von Glycerin und von manchen Salzen in Anwendung kommen; für trockne Körper, wo man zugleich eine grosse Durchsichtigkeit herbeizuführen wünscht, können fette und ätherische Oele, wie Olivenöl, Terpentinöl, Anisöl, venetianischer Terpentin und Canadabalsam in Frage kommen.

Ich will die Sache ebenfalls wieder durch ein Beispiel klar zu machen suchen. Werden die Pollenkörnchen der Pflanzen im trocknen Zustande oder von Luft umgeben betrachtet, dann sind sie ganz undurchsichtig und es lässt sich von ihrer inneren Zusammensetzung durchaus nichts unterscheiden. Durch Befeuchtung mit Wasser werden viele davon halbdurchsichtig, und man kann dann einen aus kleinen Körnchen bestehenden Inhalt, die sogenannte Fovilla, erkennen. Diese Durchsichtigkeit nimmt noch zu, wenn stärker brechende wässerige Flüssigkeiten genommen werden, etwa eine concentrirte Lösung von Chlorcalcium, wo dann die Structur mancher Pollenkörnchen, namentlich der kleineren Arten, schon sehr gut erkennbar wird. Noch deutlicher wird die Structur durch Schwefelsäure, die hier ohne Nachtheil genommen werden kann, weil die äussere Membran der Pollenkörnchen dadurch nicht angegriffen wird. Bringt man sie endlich in Terpentinöl, dann werden sie alle so glasartig durchsichtig, dass vom körnigen Inhalte nichts mehr zu erkennen ist, dagegen

Digitized by Google

aber die zwei oder drei Häute, aus denen sie bestehen, die Poren, die zellenartigen Zeichnungen oder sonstige Erhabenheiten an der äusseren Membran mit grosser Klarheit und Deutlichkeit wahrgenommen werden.

In der That begegnet man noch vielen anderen Fällen bei der mikroskopischen Untersuchung, wo es nur durch Anwendung stärker brechender Medien möglich wird, in einem Körper etwas anderes als eine dunkele Masse zu entdecken. Das Gefüge der Korallen, der Molluskenschalen, vieler Mineralien, z. B. der mit Foraminiferen erfüllten Kreide u. s. w., würde niemals gut zu erkennen sein, wenn uns blos Luft und Wasser zu Diensten ständen. Nur glaube man nicht, jene Medien, welche die stärkste Sichtbarkeit herbeiführen, seien auch jedesmal die passendsten. Gleichwie durch Terpentinöl der Inhalt der Pollenkörnchen unsichtbar wird, so verschwinden nicht selten durch solche Medien scheinbar einige Bestandtheile, die in einer Flüssigkeit von geringerem Brechungsvermögen sichtbar geblieben sein würden. Wenn es daher die Beschaffenheit des Untersuchungsobjectes zulässt, so wende man in einer Reihenfolge immer stärker brechende Flüssigkeiten an, und es wird sich alsdann oftmals zeigen, dass Einzelnheiten, von denen in der einen Flüssigkeit keine Spur wahrzunehmen ist, in einer anderen ganz deutlich hervortreten.

33 In anderen Fällen tritt zugleich mit der chemischen Umwandlung eine Veränderung im Inneren der Körper ein, die einen Einfluss auf die Lichtstrahlen übt, so dass nun einzelne Theile weit eher sichtbar werden, ja wohl erst jetzt zum Vorschein kommen, wenn früher keine Spur von ihnen anfzufinden war. Das einfachste Beispiel der Art hat man an den Blutkörperchen der Reptilien und Fische, an denen man während des Lebens, so lange das Blut noch durch die Gefässe strömt, aber auch noch in den ersten Augenblicken nach dem Austritte des Blutes aus den Gefässen kaum etwas von dem darin enthaltenen Kerne wahrnehmen kann. Allmälig indessen sieht man die Kerne immer deutlicher und deutlicher zum Vorschein kommen, bis sie zuletzt gleich scharfe Contouren haben, wie die Blutkörperchen selbst. Was hier lediglich durch innere Umsetzung der Materie geschieht, das kann in vielen Fällen auch zu Stande kommen, wenn chemisch wirkende Mittel zugesetzt werden. So besitzen die meisten Säuren die Eigenschaft, das lichtbrechende Vermögen jener Substanz, woraus die Kerne der animalischen wie vegetabilischen Zellen bestehen, bedeutend zu erhöhen, so dass Kerne, die wegen der blassen Contouren früherhin nur mit Mühe zu unterscheiden waren, durch Zusatz von Säuren scharfe und dunkele Ränder bekommen, ja dass selbst in vielen Zellen, worin vor dem Zusatze einer Säure durchaus nichts Kernartiges zu entdecken war, die Kerne dann mit grosser Klarheit hervortreten.

Digitized by Google

Auf die Zellmembranen, namentlich der thierischen Zellen, üben manche Sänren eine ganz entgegengesetzte Wirkung: durch ihren Zusatz nimmt das lichtbrechende Vermögen ab, selbst wohl in einem solchen Grade, dass endlich jede Spur derselben verschwunden ist.

In derartigen Fällen, ja überhaupt alsdann, wenn durchs Mikroskop 34
nichts wahrgenommen wird, kommt der Beobachter leicht zn dem Schlusse, die Dinge existirten nicht. Wenn sie früher vorhanden waren und später verschwanden, dann erklärt man dieselben für aufgelöst in der Flüssigkeit, die zngesetzt wurde. Aus dem oben Mitgetheilten ersieht mau aber, wie voreilig ein solcher Schluss sein kann: die Fovilla der Pollenkörnchen z. B. wird durch das Terpentinöl nicht aufgelöst, wenn sie auch dadnrch ganz unsichtbar wurde, denn nach der Verdunstung des ätherischeu Oeles kommt sie wiederum unverändert zum Vorschein; ebenso wird in vielen Fällen, wo die Zellmembranen durch Zusatz von Sänren unsichtbar geworden sind, eine Neutralisirung der Säure ausreichen, um dieselben wiederum sichtbar zu machen.

Wenn also im Gesichtsfelde des Mikroskopes nichts wahrgenommen wird, so berechtigt dies noch nicht zu dem positiven Schlusse, dass auch nichts darin vorhanden ist, sondern nur zu dem Schlusse, dass entweder das lichtbrechende Vermögen eines etwa vorhandenen Körpers von jenem des umgebenden Medinms zu wenig differirt, oder dass derselbe eine solche Form hat, vermöge deren die Strahlen, welche das Gesichtsfeld erleuchten, keine Ablenkung erfahren. Man bringe z. B. einen Tropfen einer concentrirten Lösung von Chlorcalcium oder von salpetersaurem Kalke auf ein Objecttäfelchen, an die Unterfläche eines Deckplättchens aber bringe man einen Tropfen einer ebenfalls concentrirten Lösung von kohlensaurem Kali oder kohlensaurem Natron. Legt man letzteres auf das erstere, so dass die beiden Tropfen zusammenkommen, so entsteht natürlich ein Niederschlag aus kohlensaurem Kalke. Gleichwohl wird von diesem nichts wahrgenommen werden, wenn man das also zubereitete Plättchen nnters Mikroskop bringt. Dies hat darin seinen Grund, dass das Präcipitat in diesem Falle ein vollkommen durchsichtiges Häutchen ist, welches ausgebreitet daliegt, so dass kein einziger durchtretender Lichtstrahl von seiner Richtung abweicht. So wie aber das Deckplättchen etwas hin und her geschoben wird, bilden sich Faltungen in diesem Häutchen, die sich dunkel darstellen, wenn die Lichtstrahleu durch die gekrümmte Oberfläche dringen, nnd darau erkennt man dann das Vorhandensein des Häutchens auf der Stelle. Dergleichen kommt bei mehreren organischen Häuten vor, bei der Linsenkapsel, bei der *Membrana hyaloidea*, die wegen ihrer Durchsichtigkeit nnr an den Faltungen oder an den Rändern zu erkennen sind. Das Nämliche beobachtet man aber auch an den Wandungen vieler Zellen, deren Membrau

Digitized by Google

manchmal so durchsichtig und scheinbar homogen ist, dass nur die Ränder derselben sichtbar werden.

35 Hieraus erhellt, dass Fälle vorkommen könnten, wo eine wirklich vorhandene Oeffnung von der umgebenden Membran nicht zu unterscheiden wäre, und die Geschichte der Mikroskopie lehrt wirklich, dass es oftmals sehr schwer fällt, über diesen Punkt vollkommene Gewissheit zu erlangen. Hierin findet der Irrthum seine Erklärung, dass die Blutkörperchen als Ringe beschrieben wurden; hieraus sind die verschiedenen Annahmen über die Beschaffenheit der getüpfelten Zellen und Gefässe der Pflanzen entstanden. Das beste Mittel in solchen Fällen, wodurch auch meistens jede Ungewissheit gehoben wird, besteht darin, dass man Substanzen zusetzt, welche eine Färbung der vorhandenen Membranen bewirken. Am meisten wird Jodtinctur zu diesem Zwecke benutzt. Doch muss ich in Betreff dieser Mittel auf einen späteren Abschnitt verweisen.

36 Bei den mikroskopischen Untersuchungen drängt sich nicht selten die Frage auf, ob ein Körperchen aus einer continuirlichen Membran besteht und hohl ist, oder ob es nicht hohl ist. Es kommt also in Frage, Zellen oder Bläschen von Kügelchen, Röhren von Fasern zu unterscheiden. Manchmal fällt diese Entscheidung nicht gerade schwer. Wenn wir deutlich zwei scharfe Grenzlinien wahrnehmen, deren eine das Object vom umgebenden Medium trennt, die andere aber eine innere Fläche vom Inhalte scheidet, wie es bei den meisten Pflanzenzellen der Fall ist, dann brauchen wir uns in der Regel gar nicht zu bedenken. Ich sage in der Regel, weil man bisweilen durch scheinbare Bläschen oder Röhrchen in Irrthum geführt werden kann, die allein dadurch sich bildeten, dass von zwei sich nicht mit einander mischenden Flüssigkeiten die eine zum Inhalte, die andere zur Hülle sich gestaltete. Ein derartiges Beispiel liefert jene Substanz, welche durch Compression aus den gequetschten Röhrchen des Gehirns, des Rückenmarkes oder der Nerven ausfliesst; dieselbe besteht aus fettigen und albuminösen Theilen und bildet doppelt contourirte Kügelchen und Fasern, zum Theil von so regelmässiger Gestalt, dass sie wirklich grossentheils Bläschen und Röhrchen gleichen und auch als solche beschrieben worden sind. Die doppelten Contouren entstehen hier dadurch, dass die äussere Schicht eine fettige Substanz ist, die innere Schicht eine albuminöse. Man kann sich von dem Vorgange leicht überzeugen, wenn man auf die Bildung dieser scheinbaren Bläschen und Röhrchen achtet, während die Substanz aus den Primitivröhren ausströmt. Werden sie zwischen dem Objectglase und dem Deckplättchen hin- und hergerollt, dann theilen sie sich, ohne dass eine Spur eines Häutchens auftritt, und es kommen immer wieder andere, nur kleinere Theilchen zum Vorschein, die gleich den ersteren doppelte Contouren erkennen lassen.

Nicht selten wird das Urtheil darüber, ob ein Object hohl ist oder nicht, auch noch durch andere Umstände erschwert. Vor Allem können hier zwei Dinge hinderlich sein. Zunächst kann das Brechungsvermögen des Inhaltes von jenem der Membran zu wenig differiren. Wir sehen das unter andern bei den Fettzellen, die sich ganz wie Fettkügelchen ohne eine umkleidende Membran ausnehmen; wir sehen es aber auch an den Nervenprimitivröhren im ersten Augenblicke, wo sie aus dem lebenden Körper genommen werden, indem sich die doppelten Contouren an ihnen erst dann zeigen, wenn gewisse Veränderungen ihres Inhaltes eingetreten sind, wodurch ihr Brehungsindex eine Veränderung erleidet. Zweitens kann aber auch das ganze Object zu klein, oder es kann die Membran selbst zu dünn sein, als dass man über das Vorhandensein der letzteren durch die blosse Wahrnehmung ins Klare kommen könnte. In solchen Fällen muss man dann zu anderen Hülfsmitteln seine Zuflucht nehmen.

Manchmal hilft hier ein Druck, der entweder blos mittelst eines Deckplättchens oder mittelst des später zu beschreibenden Compressoriums ausgeübt wird. Ist bereits eine Oeffnung vorhanden, wie bei den durchschnittenen Primitivröhren der Nerven, dann entleert sich der Inhalt aus der umgebenden Hülle, und wenn Luft eingeschlossen ist, so kommt diese in der Form von Bläschen zum Vorschein. Wenn die zu untersuchenden Körperchen eine gewisse Festigkeit besitzen, wie etwa Amylumkörnchen, so zerspringen sie durch den Druck zwischen zwei Glasplättchen in mehrere Stücken, wodurch der thatsächliche Beweis geliefert ist, dass es feste Körperchen sind, nicht aber Bläschen, wie von Manchen behauptet worden ist.

Wahre Zellen bersten auch bisweilen, z. B. die aus dem Ovarium genommenen thierischen Ovula, und wenn ihr Inhalt ausgedrückt ist, so erkennt man die Membran leicht an den Rändern des Risses, oder an den sich bildenden Falten und Runzeln. Indessen kommt es nicht selten vor, dass man auf diesem Wege zu keiner Gewissheit gelangt; denn die Membranen vieler organischen Zellen sind ungemein ausdehnbar, so dass sie sich, ohne zu bersten, ganz plattdrücken lassen, was man auch bei festen Körpern, die aus einer weichen Substanz bestehen, zu beobachten Gelegenheit findet.

Manchmal lässt sich mit gutem Erfolge das bekannte endosmotische Vermögen der Membranen benutzen, um über deren Vorhandensein ins Klare zu kommen. Wahre Zellen oder Röhren werden in einer Flüssigkeit, welche wässeriger ist als ihr Inhalt, nach allen Dimensionen oder doch nach einigen Richtungen aufschwellen, falls nicht, wie bei durchschnittenen Nervenröhren, Harnkanälchen u. s. w. dieser Inhalt austreten kann. Ist die umgebende Flüssigkeit nicht gleich wässerig als der Inhalt, dann tritt umgekehrt ein Zusammenschrumpfen der Membran ein.

Auf diesem Wege lässt sich z. B. die Existenz einer wahren Hülle der Blutkörperchen darthun.

Bei lufthaltigen Röhrchen oder Kanälchen wird das Vorhandensein der Höhle durch die capillare Anfsaugung von Flüssigkeit erwiesen, welche eine Austreibung oder eine Absorption der Luft znr Folge hat. Das beobachtet man z. B. an den Insectentracheen, deren feinste so dünn sind, dass sie boi den stärksten Vergrösserungen nur als ganz zarte Streifchen erscheinen.

Ferner können auch solche chemisch wirkende Mittel zu Hülfe genommen werden, von denen man weiss, dass sie auf den Inhalt eine andere Wirknng äussern als anf die mnthmassliche Hülle. Lässt man z. B. Aether und Alkalien auf das Fettgewebe einwirken, so kann man die Membranen dcr das Fett nmschliessenden Zellen zur Ansicht bringen.

Manchmal hält es schwer, Bläschen oder Zellen von dünnen Platten zu unterscheiden, wenn ihr Inhalt allmälig vertrocknet, die Zelle dadurch einschrumpft nnd abgeplattet sich darstellt, weil sie aus dem Zusammenhange mit den übrigen Zellen gerissen ist. In diesem Falle helfen Mittel, welche eine neue Ausdehnung des Inhaltes herbeiführen, so dass die Zelle ihre frühere Gestalt erlangt. Epithelialgebilde, die mit Essigsäure oder besser noch mit einer Auflösung von Aetznatron behandelt werden, Nägel, Hörner n. s. w. liefern derartige Beispiele.

Oftmals erachtet man es für genügend, auf die zellige Natur eines Körperchens zu schliessen, wenn andere kleinere und regelmässig geformte Körperchen darin vorkommen, nämlich kleinere Zellen oder Kerne, welche durch die äussere Fläche hindurch wahrgenommen werden können. In vielen Fällen ist dieser Schluss, der sich auf die Analogie mit anderen als wahre Zellen erkannten Körperchen stützt, ein ganz begründeter. Es kann aber auch in ganz festen Körperchen ein Kern vorkommen, der vermöge des verschiedenen Aggregationszustandes das Licht auf andere Weise durchgehen lässt als die äusseren Lagen und hierdurch als von diesen verschieden sich zu erkennen giebt. Einige Präcipitatkörperchen, namentlich Kupferoxyd und kohlensaurer Kalk, können als Beweis dienen. Ein eingeschlossener Kern oder auch mehrere begründen demnach nnr die Wahrscheinlichkeit der zelligen Beschaffenheit; um diese jedoch ganz festzustellen, mnss ausserdem noch die Anwesenheit einer Membran durch eins der genannten Mittel oder auf sonst eine Weise dargethan werden.

37 Ich habe noch auf ein Paar Erscheinungen aufmerksam zu machen, die sich auf den Verlauf der Lichtstrahlen in und an den Objecten des Gesichtsfeldes beziehen, und deren Unkenntniss schon mehrmals zu Irrungen Veranlassung gegeben hat. Ich habe zunächst die feinen Linien im

Auge, welche durch Diffraction und die dabei stattfindende Interferenz entstehen und deren bereits früher (I, §. 210) mit einem Worte gedacht worden ist.

Die Erscheinung selbst kann Jeder an einem guten Mikroskope leicht wahrnehmen, nnd zwar um so eher, je besser das Mikroskop ist; denn die grössere Sichtbarkeit dieser Diffractionslinien hält gleichen Schritt mit der Verbesserung der Aberrationen, und wenn die Ränder der Bilder selbst schärfer hervortreten, so werden auch diese Linien bestimmter wahrgenommen.

Um damit ganz vertraut zu werden und Irrungen zu entgehen, bringe man Objecte mit dunkelen nnd scharfen Rändern nnter das Mikroskop, wie etwa Luftbläschen. Man wird dann um den Rand einen kleinen hellen Lichtsaum bemerken, der selbst wieder von einer dunkelen Linie begrenzt wird, fast so, als wäre das Object mit einem dünnen Häutchen umgeben. So ist auch die Erscheinung nicht selten angesehen nnd beschrieben, ja selbst abgebildet worden, und der Irrthum ist um so verzeihlicher, weil der Abstand der dunkelen Diffractionslinie vom Rande des Objectes durch stärkere Vergrösserung znnimmt, ganz eben so, wie eine Membran dadurch sich dicker darstellen würde. Manchmal nimmt man nicht blos eine, sondern zwei oder drei, ja selbst vier solche Linien wahr, was ja bei den gewöhnlichen Diffractionserscheinungen ebenso beobachtet wird, nnd bei starken Vergrösserungen gewahrt man an den Rändern dieser Linien auch wohl prismatische Farben. Die Linie übrigens, welche dem Rande des Objectes zunächst sich befindet, ist immer die dunkelste. Es bedarf einer entsprechenden Beleuchtung, nm diese Linien gut zu sehen. Es ist nicht richtig, wenn man angegeben hat, sie entständen vorzugsweise durch starke Beleuchtung; im Gegentheil verschwinden sie bei solcher, wenn sie bei einer schwächeren Beleuchtung des Gesichtsfeldes sichtbar waren. Sie folgen in dieser Beziehung ganz der nämlichen Regel, wie alle sehr durchsichtigen nnd das Licht nur wenig brechenden Körper. Vergeblich hat man sie auch durch eigens dazu construirte Beleuchtungsapparate verschwinden zu machen gesucht; in dem Momente, wo sie aufhörten sichtbar zu sein, würden auch die am schwersten wahrnehmbaren wirklichen Objecte nicht mehr sichtbar sein. Ich erachte es aber auch nicht für nöthig; denn diese Linien haben etwas Eigenthümliches, was sich zwar nicht gut in Worte fassen lässt, was aber für einen etwas geübten Beobachter vollkommen ausreicht, um nicht irregeführt zu werden. Schon ihr allgemeines Vorkommen sichert hinlänglich dagegen. Ueberdies sind sie nur bei durchfallendem, nicht aber bei auffallendem Lichte sichtbar, was aus der Theorie der Diffractionserscheinungen leicht begreiflich ist: bei durchfallendem Lichte bilden die Objecte im Gesichtsfelde Schattenbildchen, bei auffallendem Lichte dagegen entstehen wahre Lichtbilder. In der abwechselnden Anwendung beider Beleuchtungsweisen bietet sich

somit für viele Fälle ein Mittel dar, den wahren Ursprung dieser Linien zu erkennen.

Es können diese Diffractionslinien überall entstehen, wo Lichtstrahlen an den Rändern eines Körpers vorbeigehen. Wenn sich viele kleine Körperchen nahe bei einander im Gesichtsfelde befinden, dann berühren sich die gegenseitigen Diffractionslinien oder fliessen in einander; da sie aber bei Beleuchtung mit diffusem Lichte immer sehr schwach sind, so kommt in einem solchen Falle nur wenig davon zur Wahrnehmung. Anders gestaltet sich die Sache, sobald ein Object nur in geringem Grade durchsichtig ist und deshalb durch direct von unten darauffallendes Sonnenlicht beleuchtet wird. Zwischen den verschiedenen kleinen Theilen, aus denen dasselbe besteht, erleiden die Strahlen alsdann vielfache Interferenzen, und diese sind deutlich sichtbar. Man kann sich die Sache so vorstellen, als wären alle diese Theilchen von Diffractionslinien umgeben, die jedoch nicht schwarz sind, sondern stets prismatische Farben zeigen. Indem diese Linien theilweise mit den benachbarten zusammenfliessen, bekommt das Ganze ein solches Aussehen, als ob es Kügelchen oder zahlreiche in einander geschlungene Fasern oder Röhrchen wären. Auch bei künstlichem Lichte, das nicht vorher diffus gemacht und zu sehr concentrirt wurde, nimmt man, wenngleich in schwächerem Grade, eine derartige Erscheinung wahr. Bekanntlich ist von älteren Mikroskopikern die wirkliche Existenz dieser scheinbaren Kügelchen, Fasern und Röhrchen behauptet worden. Hält man die Regel fest, niemals Objecte dadurch durchscheinend zu machen, dass man sehr starkes Licht durchfallen lässt, und vermeidet man namentlich das directe Sonnenlicht, dann ist man derartigen Irrthümern nicht ausgesetzt.

38 Ich wende mich jetzt zu einer anderen Eigenthümlichkeit der mikroskopischen Beobachtung, die dem Anfänger das Deuten der Gesichtseindrücke etwas erschwert, während sie für den Geübten ein wichtiges Hülfsmittel ist, um das Gefüge der mikroskopischen Objecte zu erkennen: ich meine nämlich den Umstand, dass man durch das Mikroskop nur Flächen deutlich sieht, nicht aber Körper.

Streng genommen ist das mehr die Folge einer quantitativen als einer qualitativen Verschiedenheit zwischen dem Sehen mit blossem Auge und dem mikroskopischen Sehen. Das Auge sieht gleichfalls nur solche Objecte, welche sich gerade in gleicher Entfernung von demselben befinden, also in Einer Ebene gelegen sind, in dem nämlichen Augenblicke vollkommen deutlich; denn für jede andere Entfernung wird ein verschiedenartiger Accommodationszustand erfordert, und von Objecten, deren Abstände nicht dem jeweiligen Accommodationszustande entsprechen, entstehen blos Diffusionsbilder auf der Netzhaut. Ist übrigens die Ungleichheit der Abstände nicht sehr gross, dann wird der Unterschied in der

Schärfe der Netzhautbilder ein ganz unmerklicher, und das um so mehr, je fernsichtiger Jemand ist. Ein Myope oder auch ein Presbyope, der durch eine Brille mit convexen Gläsern sieht, wird einen etwas grösseren Gegenstand, z. B. ein theils von vorn, theils von der Seite gesehenes Haus, schon nicht mehr als Ganzes überall gleich deutlich erkennen. Die Grösse der Objecte, deren körperliche Form noch deutlich erkannt wird, nimmt im geraden Verhältniss ab mit der Sehweite des Auges, oder, was hier auf das Nämliche hinausläuft, mit dem Sehen durch stärker vergrössernde Linsen. Die Entfernung, worin zwei Objecte sich befinden müssen, wenn beide noch gut gesehen werden sollen, wird deshalb immer kleiner und kleiner, und in dem Maasse als eine stärkere Vergrösserung in Anwendung kommt, nähert sich das Gesichtsfeld immer mehr einer wahren Ebene.

Hieraus ergeben sich einige nicht unwichtige Folgerungen. Es ist klar, dass bei verschiedenartigen Vergrösserungen das Object nicht immer in gleicher Weise, nur mehr oder weniger vergrössert, erscheint, vielmehr wird es wirklich andersartig angeschaut. Wird z. B. bei schwacher Vergrösserung ein organisches Gewebe betrachtet, das aus mehreren durch einander hindurchschimmernden Schichten besteht, so vermag man in dem nämlichen Momente alle diese Schichten in ihrer relativen Lage zu übersehen, wenn auch nicht alle mit gleicher Deutlichkeit; bei starker Vergrösserung dagegen lässt sich nur Eine Schicht übersehen, und es werden bei veränderter Entfernung des Objectes abwechselnd die tieferen oder höheren Schichten der Wahrnehmung entrückt.

Wir können somit aus der Benutzung starker Vergrösserungen noch einen anderen Gewinn ziehen, als den der Vergrösserung an und für sich: wir zerlegen ein Object dadurch gleichsam in mehrere Schichten, die, wenn sie alle durch einander hindurchschimmern, einen verwirrten Gesichtseindruck hervorbringen, wenn sie dagegen einzeln und successiv übersehen werden, sich deutlich unterscheiden lassen. Wir können ferner dadurch erkennen, ob ein Object sich auf oder in einem anderen oder unter demselben befindet, und wenn die auf- und niedersteigende Bewegung mittelst einer feinen Schraube ausgeführt wird, die mit einer Scala versehen ist, so lässt sich mit deren Hülfe sogar ziemlich genau die Dicke oder die senkrechte Entfernung der Objecte im Gesichtsfelde bestimmen. Nur muss darauf geachtet werden, dass in Folge des Brechungsvermögens des umgebenden Mediums eine Verrückung der Bilder in der Art eintritt, wie weiterhin in dem Abschnitte über Mikrometrie erörtert werden soll.

Wo es auf ein Erkennen der stereometrischen Form der Objecte ankommt und diese nicht zu den ganz kleinen gehören, da verdienen schwache Vergrösserungen überall den Vorzug. Handelt es sich z. B. um die Form mikroskopischer Krystalle, so verdienen die schwächsten Ver-

Digitized by Google

grösserungen, bei denen Flächen, Winkel und Ecken sich deutlich erkennen lassen, stets den Vorzug.

39 Erhöhungen und Vertiefungen lassen sich nicht immer gleich auf den ersten Blick durchs Mikroskop unterscheiden, vielmehr kann hierbei sehr leicht eine Sinnestäuschung oder richtiger eine Irrung des Verstandes unterlaufen, so dass eine Erhöhung für eine Vertiefung gehalten wird oder umgekehrt.

Im gewöhnlichen Leben erkennen wir die Form der Körper, selbst auch beim monoculären Anschauen, an der Richtung des Schlagschattens. Bei einer Erhöhung befindet sich dieser immer an jener dem Lichte abgewandten Seite, bei einer Vertiefung dagegen an der dem Lichte zugekehrten Seite. Im zusammengesetzten Mikroskope werden die Bilder verkehrt, und so nehmen auch die Schlagschatten gerade die umgekehrte Lage ein; so kann es dann geschehen, dass man Erhöhungen für Vertiefungen nimmt, und umgekehrt.

Etwas anders verhält sich die Sache bei durchscheinenden Objecten, die bei durchfallendem Lichte betrachtet werden. Diese Anschauensform kommt im gewöhnlichen Leben nur selten vor, und deshalb wird man hier nicht leicht durch eine fixe Vorstellung in Irrthum verleitet; nur ist man unwillkürlich geneigt, die dunkelen Partien des Bildes, welche durch Abbiegung der Lichtstrahlen zu Stande kommen, als eine Art Schatten zu deuten. Bei centrischer Beleuchtung hängt es gänzlich von der Form der Objecte ab, wo die dunkelen Partien im Bilde auftreten. Bei schiefer Beleuchtung entsteht eine andere Vertheilung von Hell und Dunkel, die aber nach der richtigen Darstellung Welcker's (*Zeitschrift f. rat. Med.*, 2. Reihe, VI, S. 172. VIII, S. 241. 3. Reihe, VIII, S. 63) sich gerade umgekehrt verhält, als Licht und Schatten der nämlichen Objecte bei schief auffallendem Lichte sich darstellen würden. Durchs zusammengesetzte Mikroskop bei schief durchfallendem Lichte betrachtet ist ein gewölbter durchscheinender Körper an der dem Lichte abgewandten Seite dunkel, während ein hohler Körper bei gleicher Beleuchtung an der dem Lichte zugewandten Seite dunkel erscheint. Wenn demnach Objecte bei schief durchfallendem Lichte durch das zusammengesetzte, also umkehrende Mikroskop betrachtet werden, so stellen sie sich so dar, wie Objecte, die bei schief von oben auffallendem Lichte mit blossem Auge oder mit dem einfachen Mikroskope angeschaut werden.

Blickt man durchs zusammengesetzte Mikroskop bei durchfallendem Lichte, wie es doch bei den meisten Untersuchungen zu geschehen pflegt, so läuft man kaum Gefahr, über die Vertheilung von Hell und Dunkel sich in Irrthum zu verwickeln. Man darf eher sagen, dass die Vertheilung von Hell und Dunkel an und für sich auf den ersten Blick weder auf Gewölbtsein noch auf Hohlsein schliessen lässt. Beide Formen haben bis

Digitized by Google

zu einem gewissen Punkte die gleiche Wirkung auf den Gang der Lichtstrahlen, wie wir oben (§. 28) bei Betrachtung der Luftbläschen und der Oelkügelchen gesehen haben, die auch hier wieder als Ausgangspunkt dienen mögen. Beide sind erkennbar an dem schwarzen Rande, herrührend von der stärkeren Brechung an der Peripherie, der zu Folge die dort durchtretenden Lichtstrahlen nicht ins Mikroskop eintreten und somit auch das Auge nicht erreichen. Dabei ist aber der Gang der Lichtstrahlen in beiden Fällen verschieden: das Oelkügelchen wirkt als positive Linse, das Luftbläschen als negative oder Zerstreuungslinse. Das erstere erzeugt von allen darunter befindlichen Objecten, also auch von dem der Lichtquelle zugekehrten Spiegel und von der Oeffnung des Diaphragma ein wahres Bild oberhalb des Oeltröpfchens; das Luftbläschen dagegen erzeugt ein unterhalb befindliches Scheinbild der nämlichen Objecte.

Ist das Mikroskop so eingestellt, dass der Umfang des Oelbläschens scharf hervortritt, und will man dann das Bild des im Spiegel sich reflectirenden Lichtquelles, den Himmel etwa, deutlich sehen, so muss das Mikroskoprohr höher gestellt werden. In der Ebene, worin das Bild gelegen ist, befindet sich aber auch zugleich der Punkt, in dem alle Strahlen sich kreuzen, und deshalb muss beim Höherschrauben des Mikroskoprohres der helle Mitteltheil, den man als ein Diffusionsbild des reflectirenden Spiegels oder der Diaphragmaöffnung ansehen kann, zuerst kleiner werden und sich stärker erhellen und die grösste Lichtstärke muss er in dem Augenblicke gewinnen, wenn das Bild am schärfsten sich ausprägt. Wird das Mikroskoprohr jetzt noch höher geschraubt, so kommt es neuerdings zu einem Diffusionsbilde, und der helle Mitteltheil wird wieder breiter, verliert aber auch an Lichtstärke. Anders gestaltet sich die Sache bei einem Luftbläschen. War das Mikroskoprohr auf dessen Umfang scharf eingestellt, wobei der Mitteltheil gleichfalls erhellt ist, und schraubt man das Mikroskoprohr in die Höhe, so wird jener helle Mitteltheil zuerst auch kleiner, wie beim Oelbläschen, allein er wird nicht lichtstärker, sondern büsst an Helligkeit ein, ja bei einer mässigen Entfernung des Objectives ist er ganz dunkel. Würde dagegen das auf den Umfang scharf eingestellte Mikroskoprohr niedriger gestellt, so gewinnt der centrale Theil mehr und mehr an Lichtstärke, bis zu dem Punkte, wo das Bild der Spiegelfläche an seine Stelle tritt.

Wer mit dieser Auseinandersetzung vertraut ist und die Beobachtung an Oelkügelchen und Luftbläschen selbst ausgeführt hat, dem wird die Anwendung auf alle übrigen Fälle, wo Lichtstrahlen durch die Form der Oberflächen von der Bahn abgelenkt werden, nicht gerade schwer fallen. Alle Ungleichheiten, die sich als Erhöhungen und Vertiefungen kundgeben, lassen sich schliesslich als positive oder negative Linsen auffassen. Man darf nur keine so auffällige Verschiedenheit erwarten, wie beim

Oelkügelchen und beim Luftbläschen; auch sind die Bilder nicht so deutlich, wie bei diesen. Die Erhöhung, die als positive Linse wirkt, giebt sich blos dadurch kund, dass bei vorgängiger scharfer Einstellung des Mikroskopes auf den Umfang dieser Erhöhung, sobald höher geschraubt wird, der Mitteltheil an Helligkeit und Lichtstärke gewinnt; bei einer Vertiefung dagegen tritt gerade das Umgekehrte ein. Befindet sich dagegen ein Körper inmitten einer flüssigen oder festen Substanz, so bildet dieses umgebende Medium einen Hohlraum, falls jener gewölbt ist, und umgekehrt stellt es eine gewölbte Partie dar, wenn jener hohl ist. Hat dann das umgebende Medium einen grösseren Brechungsindex, als der fragliche Körper, so kehren die Verhältnisse sich um: die gewölbten Körper verhalten sich dann gleich den hohlen, und die hohlen gleich den gewölbten.

Ein Paar Beispiele mögen dies deutlich machen und zugleich Uebungsmittel darbieten. Ein menschliches Blutkörperchen, das in Blutserum schwimmt, ist eine biconcave Scheibe oder eine negative Linse. Wird bei ausreichender Vergrösserung das Mikroskop zunächst so eingestellt, dass der Umfang des Blutkörperchens scharf hervortritt, und schraubt man dann höher, so wird der Mitteltheil dunkeler; er erscheint dagegen heller, wenn niedriger geschraubt wird. Hätte man statt des Blutkörperchens ein gleich grosses Amylumkörnchen genommen, dergleichen vielfach im Amylum von Weizen vorkommen, und damit das nämliche Verfahren eingehalten, so würde man gerade das Umgekehrte wahrgenommen haben. Besitzen die Objecte eine längliche, mehr oder weniger cylindrische Form, so hat das Lichtbild natürlich eine ähnliche Gestaltung, die Wirkung ist aber ganz die nämliche. Elastische Fasern, Spermatozoiden u. dgl. verhalten sich wie positive Linsen, Zahnkanälchen, die feinen Tracheenenden der Insecten u. dgl. wirken wie negative Linsen. Die verdickten oder verdünnten Stellen an einer Membran haben die nämliche Bedeutung. Die Tüpfel auf vielen verholzten Zellen sind nur locale Verdünnungen der Zellwand, gleichen also einer planconcaven Linse, oder bei Hoftüpfeln einer biconcaven Linse, und auf die beschriebene Weise lassen sie sich von anderen Tüpfeln oder vielmehr kleinen Höckerchen an der Oberfläche anderer vegetabilischer Zellen, wohin viele Pflanzenhaare und die Pollenkörnchen vieler Pflanzen gehören, unterscheiden. Die letzteren spielen die Rolle planconvexer Linsen.

Aus alle dem ergiebt sich für die Beobachtung durchscheinender Objecte bei durchfallendem Lichte, dass gewölbte und hohle Körperchen mit einem das umgebende Medium übertreffenden Brechungsvermögen, desgleichen auch Erhabenheiten und Vertiefungen in folgender Weise von einander unterschieden werden können:

a. Bei centraler Beleuchtung zeigen gewölbte Körperchen und Erhabenheiten, sobald das auf den Umfang eingestellte Mikroskop höher

Digitized by Google

geschraubt wird, eine stärkere Erhellung des Mitteltheiles, und das Umgekehrte beobachtet man bei hohlen Körperchen und bei Vertiefungen.

b. Bei schiefer Beleuchtung im zusammengesetzten Mikroskope sind gewölbte Körperchen und Erhabenheiten an der vom Lichte abgewandten Seite dunkel, hohle Körperchen und Vertiefungen dagegen an der dem Lichte zugekehrten Seite.

Diese durch Welcker ermittelten Regeln bewähren sich sehr gut bei mikroskopischen Beobachtungen. Die Blutkörperchen kann man freilich in eine wälzende Bewegung versetzen, die Tüpfel an Pflanzenzellen können durch einen senkrechten Schnitt getroffen werden, Pflanzenhaare und vegetabilische Körnchen kann man auf der Kante zur Ansicht bringen, und dabei vermag man Erhöhungen und Vertiefungen sicher von einander zu unterscheiden; aber nicht bei allen Objecten ist so etwas ausführbar. Indessen ungeachtet der genauen Beobachtung dieser Regeln bleibt man gleichwohl in einigen Fällen noch zweifelhaft, ob feine Tüpfel oder Streifchen durch Vertiefungen oder durch Erhabenheiten hervorgebracht werden, so z. B. an der Oberfläche mancher als Probeobjecte benutzten Diatomeenschalen. Der Grund hiervon ist aber in der ungemeinen Zartheit der Zeichnung zu suchen; man befindet sich dabei fast an der Grenze des optischen Vermögens unserer besten Mikroskope, die Beiziehung der genannten Kriterien in hohem Maasse erschwert, ja manchmal fast unmöglich ist.

Vor einigen Jahren glaubte Wenham (*Quart. Journ.* 1855, XI, p. 244) die Galvanotypie für derartige Fälle in Gebrauch ziehen zu dürfen. Er fertigte galvanotypische Abdrücke von Diatomeen, darunter auch solche mit sehr schwer löslichen Streifensystemen, wie *Navicula balticum*, *Pleurosigma Hippocampus* u. s. w., entfernte durch Kochen mit starker Kalilauge die anhängenden Kieselschalen, und untersuchte dann die Abdrücke in Kupfer als nichtdurchscheinende Objecte. Er erkannte Abdrücke von Streifen in dem Kupfer, und diese mussten also an der Oberfläche der Schalen da gewesen sein. Das ist ein ganz rationelles Verfahren; doch muss ich seine Zuverlässigkeit in jenen Fällen, wo die directe Beobachtung uns im Stiche lässt, bezweifeln. Die Beobachtung bei auffallendem Lichte kann dann nur helfen, wenn schiefe Beleuchtung stattfindet, und ich verstehe nicht, wie sie bei so starker Vergrösserung, als hier nöthig ist, gehörig eingerichtet werden soll. Späterhin hat auch Wenham (*Quart. Journ.* 1860, p. 145) über die Structur der Diatomeenschalen Ansichten mitgetheilt, die mit seinen früheren Beobachtungen nicht in Einklang zu bringen sind.

Es liegt die Vermuthung nahe, das binoculäre stereoskopische Mikroskop müsse zur Erkennung von Erhöhungen und Vertiefungen viel beitragen können. Das ist auch bis zu einem gewissen Grade der Fall, wenigstens wenn man nichtdurchscheinende Objecte bei auffallendem

Lichte betrachtet, sobald nur die Einrichtung frei von Pseudoskopie ist. Gar zu viel darf man aber von dieser Methode auch nicht erwarten. Jedes der beiden Rohre des binoculären Mikroskopes empfängt ja nur das halbe Licht, und deshalb passt das Instrument nicht zu Beobachtungen mit starker Vergrösserung. Die Anschauung bei durchfallendem Lichte ist aber anders, als man den stereoskopischen Effect der auf einander projicirten beiden Bilder zu beurtheilen gewohnt ist, und man kann sich deshalb sehr leicht in der Deutung irren. So ist es der Vorsicht gemäss, auch wenn die Objecte mit einer gewissen Plasticität sich darstellen, sich nicht ohne nähere Prüfung hierauf zu verlassen.

40 Die Färbung der Objecte erleidet beim mikroskopischen Sehen auch einige Veränderungen, die nicht unerwähnt bleiben dürfen. Es ist bereits oben (I, §. 236) darauf hingewiesen worden, dass bei manchen Mikroskopen die Bilder im Gesichtsfelde eine eigenthümliche Färbung annehmen, die man nicht mit der wahren dem Objecte zukommenden Färbung verwechseln darf. Ferner darf beim Beurtheilen der Färbung nicht aus dem Auge verloren werden, ob die Beobachtung bei auffallendem oder bei durchfallendem Lichte stattfindet, was beim gewöhnlichen Sehen freilich nur selten in Betracht kommt, weil hier die Objecte fast immer vollständig oder doch zum Theil durch auffallendes Licht beleuchtet sind, wodurch die Färbung bestimmt wird. Bekanntlich giebt es aber mehrere Substanzen, die eine andere Färbung zeigen, je nachdem sie das Licht reflectiren oder durchgehen lassen. Diese Farben sind meistens, wenn auch nicht ohne Ausnahme, complementäre. So finden wir es auch bei manchen Flügelschüppchen von Schmetterlingen (*Morpho Menelaus*, *Lycaena Argus*), die bei auffallendem Lichte blau, bei durchfallendem Lichte gelb erscheinen, während dagegen andere (*Papilio Ulysses*) im durchfallendem Lichte roth sind. Manche thierische Gewebe, die unter gewöhnlichen Umständen weisslich oder gelblichweiss sich darstellen, zeigen eine bräunliche Färbung (recht auffallend z. B. das Zahnemail) oder bisweilen auch einen grünlichen Teint, wenn sie bei durchfallendem Lichte durchs Mikroskop betrachtet werden.

Manche Objecte zeigen bei durchfallendem Lichte eine lebhafte gelbe, grüne, rothe, blaue Färbung durch Interferenz der Lichtstrahlen. Im Besonderen kommt dies bei solchen vor, die, gleich den meisten Diatomeenschalen, an ihrer Oberfläche dicht bei einander stehende Streifen, Pünktchen und andere feine Zeichnungen besitzen. Diese Färbungen treten am stärksten hervor bei schwachen Vergrösserungen und sie verschwinden vollständig, sobald man das Object bei auffallendem Lichte betrachtet.

Auch die Vergrösserung übt einen eigenthümlichen Einfluss aus. Sie treibt die gefärbten Theile gleichsam aus einander, wirkt somit ähnlich

wie Wasser, womit eine gefärbte Flüssigkeit verdünnt wird. So haben Blutkörperchen bei schwacher Vergrösserung eine entschieden rothe Farbe, werden aber bei starker Vergrösserung so blass, dass man, diesen Einfluss aus den Augen lassend, sie leicht für farblos halten könnte. Die gelbe Farbe der Xanthoproteinsäure, welche entsteht, wenn Salpetersäure auf Proteinsubstanzen einwirkt, wird auch besser bei einer schwachen Vergrösserung erkannt als bei einer starken.

Ich will noch bemerken, dass die Farben im Allgemeinen weniger gut zu unterscheiden sind bei durchfallendem Lichte, welches auf die gewöhnliche Weise durch Reflexion des hellen Himmels vom Spiegel erhalten wird, als wenn man den Spiegel mit einem weissen Papiere oder einer Gypsplatte bedeckt und auf diese die Sonnenstrahlen fallen lässt.

Auf eine ganz besondere Weise macht sich die Wirkung der Vergrösserung in der Färbung dünner Schichten bemerkbar. An einer Glasplatte, deren Oberfläche nur eben oxydirt ist, bemerkt man unterm Mikroskope bei auffallendem Lichte ganz schillernde Farben. Sehr schön tritt dieser Einfluss auch hervor, sobald auf einen Wassertropfen, der sich auf der Objecttafel befindet, mittelst einer Nadelspitze etwas Terpentinöl gebracht wird. Das Terpentinöl breitet sich über den Tropfen aus, und wenn auch mit blossem Auge noch keine Spur von Färbung zu entdecken ist, so zeigen sich doch unterm Mikroskope bei auffallendem Lichte die lebhaftesten Farbennüancen in einem beständigen Wechsel und in anhaltender Bewegung, in Folge der Verdunstung des Terpentinöls.

In dem Maasse, als die Vergrösserung zunimmt, wachsen auch alle 41
Bewegungen, zwar nicht in der Weise, dass sie innerhalb eines gewissen Zeitraumes rascher auf einander folgten, vielmehr dergestalt, dass die bestimmte Bewegung eine grössere Strecke durcheilt und dadurch augenfälliger wird. Mikroskopische Beobachter, die in einer durch Wagen befahrenen Strasse wohnen, erfahren dies öfters auf eine sehr störende Weise, indem die Erschütterung sich bereits im Gesichtsfelde des Mikroskopes kund giebt, wenn der Wagen noch ziemlich entfernt ist, und auch noch einige Zeit anhält, nachdem derselbe schon vorüber ist. Hier kann nichts anders geschehen, als dass ein zu mikroskopischen Untersuchungen besser geeignetes Zimmer gesucht wird. Theilen sich die Erschütterungen des Bodens dem Tische mit, worauf das Instrument steht, so lässt sich diese Störung dadurch beseitigen, dass man den Tisch an die Wand anrückt oder ihn auf eine Unterlage stellt, die mit dem übrigen Boden ausser Berührung ist.

Neben den von aussen herbeigeführten Bewegungen hat man es auch noch mit den Bewegungen der Objecte zu thun, die durchs Mikroskop betrachtet werden. Bei zunehmender Vergrösserung werden dieselben ebenfalls beschleunigt, und der Unterschied zwischen Beschleunigung

in der Zeit und Beschleunigung im Raume kommt hier in Betracht. Die Paar Millimeter zum Beispiel, welche ein Infusorium in einer Secunde zurücklegt, werden durch eine tausendmalige Vergrösserung in eben so viele Meter umgewandelt, und da der Durchmesser des Gesichtsfeldes immer nur einen sehr kleinen Theil jenes Weges darstellt, so ist der Zeitraum, während dessen das Thier sich darin befindet, ein so kurzer, dass kein nur etwas genauerer Gesichtseindruck möglich ist. Deshalb ist man genöthigt, entweder nur kleinere Vergrösserungen anzuwenden, oder die Bewegungen des Thieres zu beschränken, was am füglichsten durch einen leichten Druck mittelst eines Deckplättchens geschieht, oder noch besser mittelst des Compressoriums.

Anders verhält es sich mit den ganz kleinen und periodisch auf einander folgenden Bewegungen, z. B. mit jenen der Cilien. Die von der Bewegung durchlaufene Strecke nimmt ebenfalls mit der Vergrösserung zu, ohne dass jedoch die Wahrnehmbarkeit dadurch beeinträchtigt wird, weil die Cilien immer im Gesichtsfelde bleiben. Sind die sich bewegenden Härchen nicht bei einer starken Vergrösserung sichtbar, dann werden sie es sicherlich auch nicht bei einer schwächeren sein, die gleiche Schärfe beider vorausgesetzt. Der Grund, weshalb man diese sich bewegenden Theilchen und ebenso die schnell bewegten Blutkörperchen in den Haargefässen nicht sieht, liegt darin, dass die einzelnen Gesichtseindrücke zu rasch auf einander folgen, worüber Bd. I, §. 99 zu vergleichen ist. Es wäre zu wünschen, dass man, ohne die Bewegung selbst zu vermindern, deren Beobachtung dergestalt einrichten könnte, dass der empfangene Eindruck festgehalten, der nachfolgende aber nicht dadurch gestört würde. In einem späteren Abschnitte wird es sich zeigen, in wie weit dieses Ziel erreichbar ist.

Die wahre Richtung der Bewegung kleiner Objecte, die abwechselnd im Focus und ausserhalb desselben befindlich sind, lässt sich nicht immer gleich auf den ersten Blick erkennen, und nicht selten verfällt der Beobachter dabei in einen Irrthum, dem er sich nur erst durch genaue Beobachtung aller Einzelnheiten der Bewegung und des sich bewegenden Objectes zu entziehen vermag. So scheinen feine Randcilien sich wirklich vorwärts zu bewegen, während es doch in Wirklichkeit sich so damit verhält, als wenn der Wind über ein Kornfeld weht, wobei die Halme ihren Platz zu verändern scheinen. Schwarmsporidien und Spermatozoiden scheinen sich in einer Schlangenlinie fortzubewegen, während sie doch nur im Herumdrehen eine Spirallinie beschreiben.

42 Ich will hier noch auf ein Paar Bewegungen aufmerksam machen, die den wenig Geübten leicht täuschen können, insofern er ihre Veranlassung wo anders sucht.

Dahin gehören die Bewegungen, welche durch Vermengung zweier

ungleichartiger Flüssigkeiten entstehen, zumal wenn eine davon sehr flüchtig ist, wie z. B. beim Zusatze von Alkohol oder Aether zu Wasser. Alle kleinen Körperchen, die sich in einer der beiden Flüssigkeiten befinden, werden alsdann in starke Bewegung versetzt; es entstehen aber niemals regelmässige Strömungen, sondern es kommt nur mehr zu kleinen, rasch auf einander folgenden Stössen. Erfolgt die Bewegung in sehr kleinem Raume, hat man z. B. dem Durchschnitte eines mit Wasser befeuchteten Pflanzengewebes Jodtinctur zugesetzt und einige von den präcipitirten Jodkrystallen sind in eine angeschnittene Zellhöhle gelangt, dann kommt es zu einer ungemein raschen Bewegung, das Theilchen wird von einer Wandung zur andern geschleudert und es hält dieser Tanz so lange an, bis die Vermischung der beiden Flüssigkeiten vollständig erfolgte, oder bis der flüchtige Bestandtheil ganz verdunstet ist.

Noch auffallender sind die drehenden Bewegungen kleiner Körperchen, die in einem nach bestimmten Verhältnissen bewirkten Gemenge von Wasser und Alkohol in der Nähe von Luftbläschen sich befinden. Solche drehende Bewegungen können unter einem Deckplättchen, selbst wenn durch Oel an den Rändern alle Verdunstung behindert ist, stundenlang anhalten (E. H. Weber in *Poggendorff's Annal.* XCIV, S. 447, und Harting ebend. XCVII, S. 51).

Bei der Untersuchung schleimiger Substanzen begegnet es nicht selten, dass sich dieselben unter einem Deckplättchen in flüssigere und weniger flüssige Elemente theilen und die ersteren nun zwischen den aus halbflüssiger Substanz bestehenden Inseln Strömungen bilden. Eine solche Strömung hält oftmals längere Zeit an, auch wenn das Objecttäfelchen ganz horizontal liegt, weil die schleimige Substanz dem Drucke des Deckplättchens einigen Widerstand leistet, allmälig aber sich doch mehr ausbreitet und dadurch die Strömung unterhält.

Es giebt endlich noch eine Art von Bewegung, die nur an sehr kleinen Körperchen beobachtet wird und deshalb nur unterm Mikroskope wahrnehmbar ist, nämlich die sogenannte Molekularbewegung. Wer mikroskopische Untersuchungen beabsichtigt, der sollte sich bald mit dieser Erscheinung bekannt machen, denn die Erfahrung hat gelehrt, dass schon manche dadurch sich irre führen liessen und eine eigenthümliche organische Bewegung darin fanden, während doch bei allen sehr kleinen Körperchen, organischen wie anorganischen, diese Bewegung vorkommt, die als eine allgemeine Eigenschaft der Materie anzusehen ist. Ueber die eigentliche Ursache derselben will ich mich hier nicht weiter auslassen; folgende Thatsachen glaube ich indessen nicht unerwähnt lassen zu dürfen.

Zuvörderst ist die vielfach getheilte Ansicht, als rührte diese Bewegung von Verdunstung her, durchaus unbegründet, denn sie dauert fort, wenn auch jegliche Verdunstung abgeschnitten ist. Mehrfach sah ich

Digitized by Google

diese Molekularbewegung noch nach Monaten unverändert fortbestehen, obgleich die Flüssigkeit mit den kleinen Molekeln sich zwischen zwei Glasplättchen befand, die auf später anzugebende Weise unter einander verkittet waren. Schwieriger fällt es, mit Sicherheit auszumachen, ob Strömungen in der Flüssigkeit, die von einer verschiedenartigen Temperatur ihrer verschiedenen Theile ausgehen, jene Bewegungen hervorrufen. Indessen halte ich dies für sehr unwahrscheinlich, weil dann doch früher oder später Gleichgewicht und Ruhe eintreten müssten. Auch entstehen durch absichtlich zugeführte höhere Temperaturen in der Flüssigkeit zwar Strömungen, wodurch ganze Gruppen von Molekeln fortgerissen werden, eine der eigentlichen Molekularbewegung gleichende Veränderung tritt aber dadurch nicht ein.

Die Stärke und die Dauer dieser Molekularbewegung ist ebensowohl vom absoluten Gewichte der Körperchen selbst, als vom specifischen Gewichte der sie zusammensetzenden Substanz abhängig. Von einer und derselben Substanz bewegen sich die kleinsten Körperchen am stärksten und am längsten und nur bei solchen, deren specifisches Gewicht mit jenem der aufnehmenden Flüssigkeit ziemlich übereinstimmt, kann die Bewegung Monate lang anhalten; sie hört auf, sobald die Körperchen auf das Glastäfelchen gesunken sind. Bei Körperchen von grösserem specifischen Gewichte, wohin die meisten metallischen Niederschläge gehören, hält die Bewegung immer nur kürzere Zeit an, ja oftmals gewahrt man gar keine Bewegung, wenngleich die Körperchen selbst ganz klein sind.

Die Form der Körperchen übt auf die Bewegung gar keinen Einfluss: sie kommt ebensowohl bei runden Fettkügelchen und Pigmentkörnchen vor, als bei kleinen Krystallen und bei den unregelmässig geformten Kohlentheilchen verbrannter pflanzlicher Körper. In eigenthümlicher Weise beobachtet man diese Bewegung z. B. an den platten, nadelförmigen, kleinen Krystallen, aus denen der metallglänzende Ueberzug der Iris und anderer Theile der Fische besteht. Diese Krystallchen sind so durchsichtig und dünn, dass sie nur unter starker und scharfer Vergrösserung bei durchfallendem Lichte erkennbar sind. Betrachtet man aber den Tropfen Wasser, worin sie schweben, bei auffallendem Lichte, dann bemerkt man schon bei sehr schwacher Vergrösserung ein anhaltendes Flimmern wie von gelben, grünen oder rothen Fünkchen, welche von der Oberfläche dieser kleinen, in beständiger Bewegung befindlichen Krystalle reflectirt werden. Auch in vegetabilischen und animalischen Zellen beobachtet man bisweilen eine solche Molekularbewegung, recht hübsch z. B. bei hinreichend starker und scharfer Vergrösserung in den Speichelzellen, wie Donders zuerst beobachtete.

43 Zum Schluss muss ich noch die überall gültige Warnung aussprechen, bei der Deutung der im Gesichtsfelde beobachteten Bewegungen

Vorsicht zu beobachten. Manche Beobachter, darunter auch ganz ausgezeichnete, sind nur zu geneigt, jede anscheinend selbständige Bewegung als eine thierische zu betrachten. Es rührt dies daher, dass man sich nicht von der Idee losmachen kann, welche von der ersten Jugend an durch die unbewaffneten Sinnesorgane Eingang gefunden hat, als sei Ruhe der charakteristische Zustand aller unorganischen Körper sowie der Pflanzen, so lange dieselben nicht von aussen einwirkenden Kräften unterliegen, und alle Körper, welche durch innere inwohnende Kräfte in andauernde Bewegung versetzt werden, gehörten dem Thierreiche an. Im strengen Sinne des Wortes giebt es keine absolut todten Körper, es wirken darin innere Kräfte, wenn auch nur in sehr mässigem Grade, und absolute Ruhe ist eine Unmöglichkeit; deshalb ist es auch nicht zu verwundern, wenn wir mittelst der bewaffneten Sinnesorgane dort Bewegung entdecken, wo wir dergleichen früher gar nicht vermuthen durften. Für die sogenannte anorganische Substanz bietet uns die Molekularbewegung ein Beispiel. Bei den Pflanzen gehört die innere Bewegung nicht minder zu den Bedingungen ihrer Existenz, als bei den Thieren. Sobald die Umwandelung und der Umtausch der Bestandtheile, die Bewegung der Säfte innerhalb der einzelnen Zelle sowie von einer Zelle zur anderen aufhören, stirbt der Pflanzentheil ab. Auch ist es hinlänglich bekannt, dass bei Pflanzen noch andere Bewegungen vorkommen, die von besonderen Ursachen abhängig sind und mit den allgemeinen Lebenserscheinungen in keinem nothwendigen Zusammenhange stehen. Zudem ist durch Untersuchungen dargethan worden, dass den Pflanzen das Vermögen der Ortsbewegung ebenfalls nicht durchaus abgeht. Die Sporidien vieler Algen schwimmen ganz auf die nämliche Weise im Wasser herum, als die zu den Thieren gerechneten Monaden, und sie haben die gleichen Bewegungsorgane wie diese, nämlich Cilien.

Ein charakteristisches Merkmal der thierischen Bewegung, woran jeder Beobachter Pflanze und Thier von einander zu unterscheiden vermöchte, lässt sich meines Erachtens nicht aufstellen. Wer die ungemein kleinen, nur bei starker Vergrösserung sichtbaren Vibrionen in eiweisshaltigen Flüssigkeiten sieht, wird wohl nicht leicht ein Bedenken tragen, dieselben für Thierchen zu erklären, wenngleich ihre Kleinheit nicht erlaubt, etwas von inneren Organen wahrzunehmen. Wir müssen aber eingestehen, dass es sich hierbei weniger um eine wissenschaftliche als um eine moralische Ueberzeugung handelt: allen Thieren schreiben wir einen Willen zu, und in den beobachteten Bewegungen glauben wir die Aeusserungen dieses Willens zu erkennen. Wie unsicher hier jede Definition wird und wie dieselbe ganz von der subjectiven Auffassung des Beobachters abhängig ist, braucht kaum erinnert zu werden. Ueberdies stösst man auf Fälle, wo man in einem vollständigen Zweifel bleibt, der auch bei Benutzung aller übrigen Unterscheidungszeichen nicht zu lösen ist. In

Digitized by Google

solchen Fällen ist es immer besser, ein bestimmtes Urtheil zurückzuhalten, statt sich positiv über die vegetabilische oder animalische Natur solcher Körper auszusprechen. Vielleicht wird es sich später klar erweisen, dass es keine eigentlichen Grenzen zwischen den beiden grossen Abtheilungen giebt, welche in der organischen Natur, und zwar hauptsächlich nach der Beobachtung mit blossem Auge, angenommen zu werden pflegen.

Sobald das Mikroskop zur Hand genommen wird, darf man nicht nur erwarten, viele Dinge in anderer Weise und unter anderen Umständen zu. sehen, als man es mit blossem Auge gewohnt ist, auch darauf muss man vorbereitet sein, dass alles, was bei einem beschränkteren Gesichtskreise bisher als unumstössliche Wahrheit gegolten hat, in dem Maasse, als dieser Gesichtskreis sich erweitert und eine grössere Anzahl Objecte umfasst, als Vorurtheil und Irrthum sich herausstellen kann.

Digitized by Google

Dritter Abschnitt.

Zubereitung der mikroskopischen Objecte.

Nur wenige Dinge lassen sich ohne alle vorgängige Zubereitung unterm Mikroskope untersuchen, die meisten sind dazu entweder nicht durchsichtig genug, oder sie sind zu gross, zu beweglich. Es muss daher der undurchsichtige Körper in den durchsichtigen Zustand übergeführt werden, den zu grossen Körper hat man in Theile zu zerlegen, die zu rasche Bewegung mancher Körper muss beschränkt werden, um sie gehörig beobachten zu können. Auch werden manche Objecte oder deren Theile nur dadurch sichtbar, dass man dieselben auf besondere Weise behandelt, indem man sie entweder mechanischen oder chemischen Einflüssen aussetzt, oder indem man ihre Wahrnehmbarkeit auf andere Weise erhöht: die feineren Gefässe z. B. füllt man mit leicht erkennbaren Substanzen an. 44

Es soll nun in diesem Abschnitte möglichst genaue Anweisung gegeben werden, wie der mikroskopische Beobachter je nach der Verschiedenheit der Umstände und der Fälle verfahren muss, wenn er den Zweck seiner Untersuchung auf die sicherste und leichteste Weise erreichen will. Nur erwarte man nicht Vorschriften zu finden für alle nur möglichen Fälle, die während der Untersuchung eintreten können; auch erwarte man nicht eine Beschreibung aller Instrumente, die nur für ganz besondere Untersuchungen ausgedacht worden sind. Selbst die ausführlichste Beschreibung der anzuwendenden Methoden wird nicht ganz erschöpfend sein, da sich unmöglich alle verschiedenen Umstände voraussehen lassen,

die bei mikroskopischen Untersuchungen der verschiedensten Art vorkommen können. Wenn aber auch jemand bei seinem Mikroskope alle Apparate besässe, welche jemals zum Behufe einzelner Untersuchungen angefertigt worden sind, er würde gleichwohl die Erfahrung machen, dass sie für die Gesammtheit der vorkommenden Fälle doch nicht ausreichen. Wenn irgend wo, so findet das bekannte Wort Franklin's, ein Naturforscher müsse mit dem Bohrer sägen, mit der Säge aber bohren können, hier Anwendung. Beim Abfassen der nachfolgenden Anweisungen stelle ich mir daher auch am liebsten solche vor, deren Mikroskop eine ganz einfache Einrichtung besitzt und nur mit dem allernöthigsten zu Untersuchungen erforderlichen Apparate ausgestattet ist. Eine genauere Beschreibung verschiedener Instrumente nebst Anweisung ihres Gebrauches zu den bestimmten Zwecken, welche ihre Erfinder angegeben haben, wird im dritten Bande vorkommen. Hier ist es vorzüglich meine Aufgabe, nachzuweisen, wie dergleichen Instrumente entbehrlich werden können. Der verständige Leser wird aber selbst das Fehlende ausfüllen.

45 Zuvörderst kommt die Beschaffenheit und die Einrichtung des Zimmers in Betracht, wodurch dasselbe zum Anfertigen von Präparaten und zur Vornahme mikroskopischer Beobachtungen geeignet wird. Eigentlich kann jedes Zimmer mit einem nach dem Freien gerichteten Fenster dazu benutzt werden. Hat man indessen die Wahl zwischen verschiedenen Zimmern, oder soll ein zu mikroskopischen Untersuchungen eigens bestimmtes Observatorium hergestellt werden, dann können folgende Principien maassgebend sein, und zwar aus den zum Theil schon früher (I, §. 213) entwickelten Gründen.

Am besten ist es, wenn das Zimmer auf zwei Seiten ein Fenster oder ein Paar Fenster besitzt, die nach Norden und nach Süden gerichtet sind. Gehen die Fenster nur nach Einer Seite, dann verdient die Richtung nach Süden den Vorzug. Durch passend angebrachte Schirme muss dann dafür gesorgt werden, dass das Sonnenlicht, wenn dasselbe hinderlich sein könnte, von aussen abgehalten wird.

Die Wände des Zimmers sind am besten weiss; für die Tische dagegen, auf denen gearbeitet wird, verdient die schwarze Farbe den Vorzug.

Das Zimmer muss ferner eine solche Lage haben, dass die Wände und der Boden so wenig als möglich durch vorübergehende Wagen erschüttert werden. Deshalb vermeidet man ein Zimmer nach einer stark besuchten Strasse und wählt lieber ein solches, dessen Fenster auf einen Garten gehen.

Um jeder Erschütterung vorzubeugen, ist es auch gut, wenn die zum Tragen der Mikroskope bestimmten Tische entweder an die Wand befestigt sind, oder aber mit den Füssen auf besonderen Stützen ruhen, die mit dem übrigen Boden nicht verbunden sind, wie es in Fig. 3 dar-

Digitized by Google

gestellt ist. Das ist namentlich wünschenswerth in einem Zimmer, welches zu mikroskopischen Demonstrationen benutzt wird.

Um den in der Luft schwebenden Staub möglichst zu verhüten, der bei mikroskopischen Untersuchungen oftmals sehr hinderlich ist, sollte die Decke mit Leinwand überzogen, der Boden aber nicht mit einem Teppiche bedeckt, sondern aus gut schliessenden Brettern geformt und dabei dunkel gefärbt sein, weil es dann leichter ist, ein kleines Object, welches durch Zufall auf den Boden fällt, wieder zu finden.

Die Heizung des Zimmers sollte, wo möglich, durch Röhren geschehen, in welche Luft oder erwärmtes Wasser geleitet wird, wobei das eigentliche Heizungslocal sich ausserhalb befindet. Wird die Heizung auf gewöhnliche Weise durch Oefen oder Kamine bewirkt, dann schweben in der Luft des Zimmers immer viele Aschen- und Kohlentheilchen.

Was die Grösse des Zimmers, die Zahl der Tische u. s. w. anlangt, so kommt es natürlich darauf an, ob dasselbe nur für eine einzelne Person oder ob es zu öffentlichen Demonstrationen bestimmt ist. Im letzteren Falle soll von Zeit zu Zeit auch das Bildmikroskop benutzt werden, zu welchem Behufe die Wand vier bis fünf Meter vom gegenüberliegenden Fenster entfernt sein muss, damit der Schirm in die gehörige Entfernung kommen kann; natürlich muss daher auch die Breite des Zimmers dem erleuchteten Felde auf dem Schirme entsprechend sein. Für eine einzelne Person dagegen ist das kleinste Zimmerchen ausreichend, wo ein Tisch, ein Stuhl und ein Kasten für die nöthigen Geräthschaften Platz haben.

Vortheilhaft ist es, wenn man einen kleinen Tisch ausdrücklich zur Anfertigung von Präparaten sich einrichtet. Mit Vortheil bediene ich mich seit mehreren Jahren eines solchen, mit einer Einrichtung, wie sie in Fig. 3 (a.f.S.) dargestellt ist. Er ist länglich viereckig, hat in der Richtung *ab* eine Breite von 0,8 Meter und misst 0,6 Meter in der Richtung *ac*. Eine zweite Platte *d* befindet sich 0,45 Meter unterhalb der oberen; dieselbe ist an den vier Füssen des Tisches befestigt und trägt in der Mitte einen Spiegel *e* von 0,20 Meter Durchmesser, der wie ein gewöhnlicher Mikroskopspiegel sich in einem Bügel bewegt und nach allen Richtungen gedreht werden kann. Der Stab, worauf der Bügel ruht, hat unten eine Schraube, wodurch er dergestalt an das zweite Tischblatt befestigt ist, dass der Spiegel sich bequem wie um eine Axe drehen kann und nach Willkür sich auch ganz wegnehmen lässt, sobald nämlich an die Stelle des Spiegels ein Mikroskop kommen soll, welches auf später anzugebende Weise als Sonnenmikroskop benutzt wird, um damit photographische Abbildungen zu erhalten. Damit das Licht auf den Spiegel fällt, wird das Stück *n* im oberen Tischblatte, dem Sitze des Beobachters gegenüber, weggenommen. In der Mitte des oberen Tischblattes, gerade oberhalb des Spiegels, ist eine viereckige Oeffnung von 0,15 Meter Länge ange-

bracht. In diese Oeffnung kann ein gleich grosser und 3 Centimeter tiefer Trog eingesetzt werden, der auf einem Falze ruht, mit Seitenwänden von Blech und einem Boden von dickem Spiegelglas. Es ist dieser kleine Trog zu Zergliederungen bestimmt, die am besten unter Wasser vorgenommen werden, und wozu der unten stehende Spiegel das erforderliche durchfallende Licht schafft. Sonst kann statt des kleinen Trogs ein Stück dickes Spiegelglas oder eine hölzerne Platte, die gleich dem ganzen Tische schwarz gefärbt ist, in die Oeffnung eingelegt werden,

Fig. 3.



Harting's Präparirtisch.

so dass deren Oberfläche mit dem übrigen Tischblatte im gleichen Niveau ist. Darauf können mehrere Ringe zu liegen kommen von 4 bis 8 Centimeter Durchmesser, die mit einem Spiegelglase bedeckt werden, oder in die man Uhrgläser von verschiedener Grösse einsetzt, um Objecte aufnehmen zu können. Diese Ringe können von Blech sein; oben haben sie einen umgeschlagenen Rand, und von unten her ist der Rand doppelt, auch wohl zu grösserer Festigkeit mit Blei gefüllt. Ein solcher Ring ist unter *q* abgebildet. Zur Seite der Oeffnung können dann mehrere Lupenträger kommen, die entweder in dafür bestimmten Oeffnungen stehen, oder die, wie *g*, auf hinlänglich schweren, mit Blei gefüllten Füssen ruhen. Auch kann hier füglich ein bild-

Digitized by Google

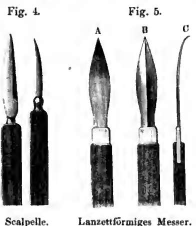
umkehrendes oder ein anderes zusammengesetztes Mikroskop zu stehen kommen, indem seitlich von der viereckigen Oeffnung eine messingene Säule *h* mit einem Querarme *i* in die Tafel eingelassen wird, die sich um eine Spindel drehen lässt. Der Querarm ist mit einem Ringe *k* oder mit einer kurzen Röhre versehen, worin das Rohr des Mikroskopes *m* auf- und niedergeschoben werden kann, was hier ganz ausreichend ist, da man nur bei geringen Vergrösserungen davon Gebrauch machen darf. Endlich hat der Tisch noch ein Paar Schubfächer *ll*, zum Theil in Fächer abgetheilt, um einige Gläser mit den gebräuchlichsten Reagentien aufzunehmen.

Ich wende mich jetzt zu den Instrumenten, welche zum Seciren bestimmt sind, wobei ich jene auch zu gröberen Sectionen benutzten übergehe, weil ich den Leser mit diesen hinlänglich vertraut annehmen darf. 46

Von schneidenden Instrumenten sind erforderlich:

1. Zwei bis drei kleine Scalpelle von verschiedener Grösse und Form. Jene, deren ich mich bediene, sind Fig. 4 in ihrer wahren Grösse dargestellt und bedürfen keiner besonderen Beschreibung.

2. Sehr brauchbar ist ein gebogenes lanzettförmiges Messer, welches Fig. 5 dargestellt ist. Auf der Hohlseite (*A*) ist es ganz eben, auf der convexen Seite (*B*) aber ist es in der Mitte dicker. Bei *C* sieht man dasselbe vom Rande.



Scalpelle. Lanzettförmiges Messer.

3. Ein Rasirmesser mit einer breiten und dünnen Klinge. Da das Rasirmesser sehr häufig in Gebrauch kommt, so ist es gut, mehrere in Bereitschaft zu haben, um das während einer Untersuchung stumpf gewordene Messer mit einem anderen vertauschen zu können.

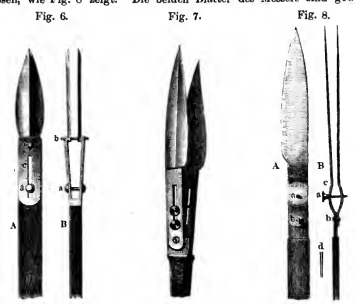
4. Doppelmesser. Valentin's Doppelmesser ist Fig. 6 abgebildet, bei *A* von der Fläche, bei *B* vom Rande. Es besteht aus zwei doppelschneidigen, mit den ebenen Flächen einander zugekehrten Klingen. Gleich den Blättern einer Schieberpincette können diese Klingen durch den Stift *a*, welcher sich in der Rinne *c* auf- und abschieben lässt, einander genähert werden, wobei ein anderer Stift *b*, der an der einen Klinge angenietet ist und in einer entsprechenden Oeffnung

der anderen gleitet, die Bestimmung hat, beide Klingen in der nämlichen Stellung zu erhalten.

Gerber's Doppelmesser ist Fig. 7 dargestellt. Im Wesentlichen stimmt es mit dem vorhergehenden überein; nur sind die Klingen anders geformt und es fehlt der zuletzt erwähnte Stift daran.

Ich habe mir Doppelmesser mit etwas anderer Einrichtung anfertigen lassen, wie Fig. 8 zeigt. Die beiden Blätter des Messers sind gewöhn-

Fig. 6. Fig. 7. Fig. 8.



Valentin's Doppelmesser. Gerber's Doppelmesser. Harting's Doppelmesser.

liche Scalpellklingen und so mit einander vereinigt, dass ihre Schneiden einander immer mehr genähert sind, als die Rückenränder, wie es in dem Durchschnitte *d* angegeben ist. Das ist ein wichtiger Punkt, worauf beim Anfertigen von Doppelmessern wohl zu achten ist; denn wenn der Abstand für alle Punkte der nämliche ist, dann bleibt beim Durchschneiden das abgetrennte Stückchen zwischen den beiden Blättern stecken. Aus dem nämlichen Grunde muss auch das Interstitium beider Klingen an der Spitze grösser sein, als an der Basis, was in *B* ebenfalls angedeutet ist. Beide Klingen sind bei *c* nach aussen gebogen, und sie werden einander durch die Schraube *a* genähert. Eine der beiden Klingen ist mit dem Hefte in fester Verbindung, die andere kürzere aber ist mit der ersteren durch eine Schraube *b* verbunden. Wird die Schraube *a* weggenommen, dann kann die kürzere Klinge seitlich verschoben werden, und es lassen sich die Klingen gehörig reinigen oder nöthigenfalls auch schleifen.

Digitized by Google

Zwei andere Instrumente von ähnlicher Art, wenn auch von etwas anderer Form und Bestimmung, sehen wir in den zwei folgenden Figuren. Fig. 9 ist eine Art Doppellancette, Fig. 10 eine Art Doppelmeisel.

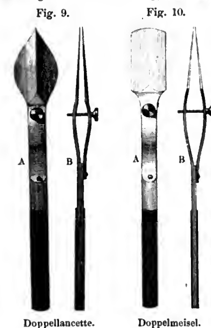


Fig. 9. Doppellancette. Fig. 10. Doppelmeisel.

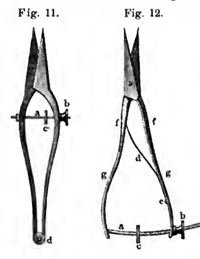
Ausser in der Form der Klingen unterscheiden sie sich auch noch darin von Doppelmessern, dass ihre Spitzen sich allmälig einander nähern. Ganz überflüssig erscheint übrigens eine nähere Beschreibung dieser Abbildungen, worin die Instrumente in halber Grösse dargestellt sind.

Ueber den Gebrauch dieser Doppelmesser und über die Fälle, wo sie mit wahrem Nutzen zu brauchen sind, wird später das Nöthige angeführt werden.

5. Eine oder zwei feine Scheeren. Bei manchen feinen Zergliederungen von Insecten, Mollusken u. s. w. sind dergleichen durchaus nicht zu entbehren. Die Scheere hat den grossen Vorzug vor dem Messer, dass sie die Gewebe durchschneidet, ohne sie zu zerren oder aus der Stelle zu verrücken. Statt der gewöhnlichen Scheere kann man auch mit Vortheil das von Strauss-Durckheim (*Traité pratique et theorique d'anat. comparative*, 1842, Vol. I, p. 152) beschriebene Mikrotom benutzen, womit man leichter und sicherer in allen Richtungen schneiden kann, als mit einer gewöhnlichen Scheere; denn bei letzterer wird die Haltung der Hand immer mehr oder weniger durch die Haltung der in den Griffen steckenden Finger bestimmt, und ein genaues und festes Schneiden ist deshalb nur in einer bestimmten Anzahl von Richtungen möglich. Unter dem Namen Mikrotom sind auch noch andere Instrumente beschrieben worden, die aber nicht in unmittelbarer Beziehung zur mikroskopischen Untersuchung stehen und von denen erst später die Rede sein wird. Das Mikrotom von Strauss-Durckheim, welches Fig. 11 (a. f. S.) in halber Grösse dargestellt ist, gleicht in der Hauptsache einer gewöhnlichen anatomischen Pincette, deren Blätter aber in zwei kleine Scheerenklingen ausgehen. Ihre Bewegung wird durch eine Schraube *a* geregelt, welche in dem einen Zangenarme der Pincette befestigt ist und durch eine Oeffnung des anderen

Digitized by Google

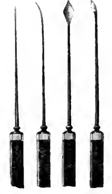
Zangenarmes tritt, wo sich eine Mutter *b* befindet, welche auf die Schraube passt; dadurch kann man, bevor man schneidet, die Distanz der Zangenarme, also den zu durchlaufenden Raum, nach Willkür grösser oder kleiner machen. Um aber auch die Bewegung nach innen, so weit man es wünscht, beschränken zu können, ist an jener Schraube eine zweite Mutter *c* zwischen den beiden Zangenarmen angebracht. Da endlich das Schleifen der Scheere schwer fallen würde, wenn die beiden Zangenarme wie bei einer gewöhnlichen Pincette fest an einander gelöthet wären, so ist die Verbindung durch eine Schraube bei *d* hergestellt, um die Pincette auseinander nehmen zu können.



Mikrotom von Strauss-Durckheim. Mikrotomische Scheere.

Mit gleichem Vortheile kann man auch die in Fig. 12 in halber Grösse dargestellte Scheere gebrauchen, deren beide Griffe durch eine elastische Feder *d*, die bei *e* an den einen Griff befestigt ist, auseinander gehalten werden. Die Schraube *a* und die beiden Schraubenmuttern *c* und *b* entsprechen durchaus den nämlichen Theilen in Fig. 11. Von *f* bis *g* müssen die Griffe feilenartig rauh sein, um das Rutschen zwischen den Fingern zu verhüten.

Die beiden zuletzt beschriebenen Instrumente werden übrigens wie eine Schreibfeder gefasst.



Nadeln.

6. Nadeln, die bei sehr vielen mikroskopischen Untersuchungen ganz unentbehrlich sind. Mit ein Paar gewöhnlichen Nähnadeln, die in hölzerne oder beinerne Griffe eingelassen sind kann man schon viele der wichtigsten Zergliederungen unter dem Mikroskope ausführen. Sechsseitige oder achtseitige Griffe sind den runden vorzuziehen, weil sie weniger zwischen den Fingern rollen. Die Nadeln dürfen nicht zu lang sein, weil sonst die Bewegung an Sicherheit verliert. Am besten ist, wie in Fig. 13, eine Länge von 5 bis 6 Centimeter. Für manche Zwecke ist es gut, eine Nadel mit umgebogener

Spitze (Fig. 14) zu haben. In anderen Fällen passen Nadeln, die in eine kleine zweischneidige spitzige Klinge (Fig. 15) ausgehen, oder die sich am Ende scalpellförmig (Fig. 16) etwas verbreitern.

Zur Herstellung von Präparaten aus harten Substanzen sind endlich noch erforderlich:

7. eine feine Säge aus einer Uhrfeder;
8. eine oder mehrere Feilen von mässiger Feinheit.

Auch ein Wort über das Schärfen oder Schleifen der Messer dürfte 47
hier am Platze sein. Wenn dieselben durch anhaltenden Gebrauch zu sehr gelitten haben, so versteht es sich von selbst, dass man sie zum Instrumentenmacher schicken muss, der sich auch mit dem Schleifen oder Schärfen der Scheeren und Sägen zu befassen hat. Hat sich blos die Schärfe eines Messers abgestumpft, dann muss man selbst im Stande sein, diese wieder herzustellen. Das ist anscheinend etwas ganz leichtes, aber nur wenige verstehen es gut. Die meisten schleifen ihre Messer nicht flach, sondern convex, so dass die Schneide zwar scharf, zugleich aber auch keilförmig ist, und dadurch geht der Vortheil einer dünnen platten Klinge verloren, die namentlich beim Anfertigen von Durchschnitten von grosser Wichtigkeit ist.

Diese unregelmässige Schleifung hat einen doppelten Grund: erstens das unpassende Halten des Messers während des Schleifens, wobei Rücken und Schneide gleichzeitig mit der schleifenden Fläche in Berührung sein müssen; zweitens die Benutzung von Wetzsteinen, deren Oberfläche anfangs zwar ganz eben ist, während des Gebrauchs aber mehr und mehr ausgehöhlt wird. Ein Messer, welches auf einer solchen ausgehöhlten Fläche geschliffen wird, muss natürlich immer gewölbt werden.

Man vermeidet diesen Uebelstand, wenn man zur Schleiffläche ein Stück Spiegelglas wählt, das sich nur wenig abnutzt und eintretenden Falls alsbald durch ein anderes ersetzt werden kann. Als Schleifpulver dient ein fein geschlämmtes Tripelpulver. Letzteres verschafft man sich dadurch, dass man eine Quantität Tripelpulver in ein ziemlich hohes Cylinderglas thut, Wasser übergiesst, das Gemenge dann gehörig umrührt und einige Augenblicke stehen lässt, bis sich die gröberen Theile gesetzt haben. Dann giesst man die überstehende Flüssigkeit ab, damit sie gesondert sich absetzt; der Niederschlag aber wird getrocknet und in einer gut schliessenden Schachtel vor Staub geschützt. Verfährt man mit dem Rückstande noch ein Mal oder ein paar Mal auf die nämliche Weise, so kann man sich Tripelpulver von verschiedener Feinheit verschaffen. Etwas von dem feinsten Tripelpulver wird aber mit ein Paar Tropfen Olivenöl auf die Oberfläche des Spiegelglases ausgebreitet und alsdann wird das Messer unter einem allmälig gesteigerten Drucke, wobei der Rücken und

Digitized by Google

die Schneide immer zugleich mit der Schleiffläche in Berührung sein müssen, kreisförmig hin- und herbewegt.

Um der Schneide eines Messers die grösste Feinheit und Schärfe zu verschaffen, muss dasselbe weiterhin noch auf einen Streichriemen kommen, und wenn es nicht zu stumpf ist, kann man sich mit diesem allein begnügen. Bekanntlich giebt es mancherlei Arten von Streichriemen. Feine Riemen, die mit dem einen Ende an eine Wand befestigt und an dem anderen mit der Hand gehalten werden, desgleichen solche, welche man durch Schrauben oder sonst auf eine Art anspannt, sind zu verwerfen: sie biegen sich während des Streichens nach unten und machen daher die Klinge immer convex. Besser ist ein Riemen aus weichem Leder, der auf einer hölzernen Unterlage befestigt wird. Auf diesen Riemen wird ein Gemenge aus fettiger Substanz mit einem feinen Pulver, etwa geschlemmtem *Colcothar vitrioli*, gestrichen. Als besonders passend kann ich aber dazu den erst in neuerer Zeit dazu verwandten sogenannten Diamantstaub empfehlen. Durch diesen erhalten die Messer eine ungemein scharfe Schneide.

Beim Hin- und Herstreichen auf dem Riemen hat man darauf zu sehen, dass das Messer ganz flach gehalten wird und immer mit allen Punkten in Berührung ist, auch dass beim Umdrehen der Rücken des Messers stets dem Riemen zugekehrt bleibt. Endlich muss die Bewegung beim Aufsetzen auf den Riemen in der Richtung der Diagonale ausgeführt werden.

48 Zum Fassen kleiner Objecte, die sich nicht mehr mit den Fingern halten lassen, dienen Pincetten oder Zängelchen. Gewöhnlich befindet sich ein solches in zwei feine Spitzen auslaufendes Zängelchen von Messing bei jedem Mikroskope, und es bedarf daher keiner besonderen Beschreibung desselben. Zu Sectionen verdient aber in der Regel eine kleine Pincette aus Stahl den Vorzug, deren Spitzen an der Innenfläche feilenartig eingekerbt sind.

Fig. 17. Fig. 18.

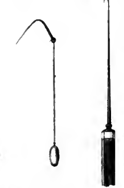


Fig. 17. Nadel zur Spannung von Theilen vorgerichtet. Fig. 18. Häkchen.

Oftmals ist es auch nöthig, dass während der Zergliederung eines Thieres einige Theile desselben in Spannung gehalten werden. Bei grösseren Thieren werden zu solchem Zwecke die bekannten Haken benutzt. Bei kleineren Thieren, wie z. B. Insecten, und ebenso bei zarten Organen, z. B. beim Auge, können recht gut feine Nadeln dazu genommen werden, die man an der Spitze hakenförmig umbiegt. Oftmals ist schon das Gewicht einer solchen Nadel ausreichend, um die gewünschte Spannung zu

erzielen. Reicht es aber nicht aus, so kann man um den Kopf der Nadel einen Faden befestigen, der mit einem kleinen Gewichte versehen ist (Fig. 17); dieses hängt dann frei über den Rand des Gefässes herab, worin sich der Gegenstand befindet, und zieht den betreffenden Theil an. Um nöthigenfalls die Richtung des Zuges noch zu modificiren, kann man ein Stückchen Stanniol oder etwas dergleichen auf den Faden in dem Gefässe legen, oder diesen durch ein untergelegtes Körperchen unterstützen.

Auch ein Häkchen, wie man bei manchen Augenoperationen benutzt (Fig. 18), lässt sich in einzelnen Fällen vortheilhaft anwenden.

Alle Objecte verlangen eine Unterlage, auf der sie entweder unmit- 49
telbar unter das Mikroskop gebracht, oder auf der die vorher nöthigen Zurichtungen vorgenommen werden. Die Mannigfaltigkeit der Objecte und der Zurichtung derselben macht es schon begreiflich, dass nicht immer die nämliche Unterlage benutzbar ist, dieselbe vielmehr sich immer nach dem beabsichtigten Zwecke zu richten hat.

Im allgemeinsten Gebrauche sind aber Glastäfelchen, die man immer in grösserer Anzahl bereit haben muss. Sie sollen aus gutem und nicht zu dünnem Spiegelglase bestehen, glatt geschliffene Ränder und dabei eine passende Länge und Breite besitzen. Ich benutze meistens solche von 22^{mm} Breite und 66^{mm} Länge; doch muss man für einzelne Fälle auch breitere haben *).

---

*) In der jüngsten Zeit knüpft sich ein besonderes Interesse an die Frage, welche Grösse und Gestalt die zu Präparaten bestimmten Glastafeln haben sollen. Mehrfach werden mikroskopische Präparate als Handelsartikel angefertigt, und es haben sich auch vielfach Vereine gebildet, die unter anderen Zwecken auch den verfolgen, durch Austausch Sammlungen mikroskopischer Gegenstände zu begründen. Solche Vereine sind die *Microscopical Societies* in London, Hull, Bath, Oxford, Bristol u. s. w., der Verein für Mikroskopie in Frankfurt, sowie ähnliche Vereine in Giessen, in Dresden, in Leipzig.

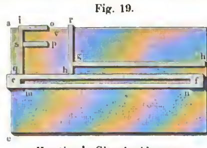
Da es nun für eine gut geordnete Sammlung der Nettigkeit halber wünschenswerth ist, dass alle Präparate auf Glastafeln von gleicher Grösse und Gestalt aufbewahrt werden, so hat man die Frage aufgeworfen, welche Grösse und welche Form der Glastafeln die passendste sein dürfte? Die Antwort auf diese Frage ist natürlich sehr verschieden ausgefallen, denn wer schon eine Präparatensammlung hat, wird sehr geneigt sein, den Glastäfelchen, von denen er bisher Gebrauch machte, den Vorzug zu geben. So steht denn zu befürchten, dass man sich hierüber so wenig allgemein vereinigen wird, wie über die Einheit des Maasses und des Gewichts, für dessen Wünschbarkeit sich doch noch schlagendere Gründe anführen lassen, als für die Gleichförmigkeit der Präparate eines mikroskopischen Cabinets.

Die *Microscopical Society* in London hat als Maasse für die Glastafeln ihrer Mitglieder angenommen: 3 engl. Zoll (72 Mm.) Länge und 1 engl. Zoll (24 Mm.) Breite. Zwar etwas kleiner, aber sonst von gleicher Form sind die Glastäfelchen, auf denen ich mehrere Tausende von Präparaten bewahre. In beiden Fällen verhalten sich Länge und Breite zu einander wie 3 : 1. Diese Form ist gewählt, damit, wenn in der Mitte das Präparat liegt, bedeckt durch das vierseitige Deckplättchen, zu beiden Seiten noch ein gleich grosser Raum übrig bleibt, der für die Etiquette und für die Nummer bestimmt ist.

Digitized by Google

Begnügt man sich damit, immer nur frisch zubereitete Objecte zu beobachten, so kann man sich von jedem Glaser eine ausreichende Anzahl solcher Glastäfelchen anfertigen lassen. Will man dagegen auch eine Sammlung mikroskopischer Präparate anlegen, so dass man voraussichtlich Hunderte oder Tausende von solchen Gläschen braucht, so ist es gut, wenn man sich dieselben selbst zuzubereiten im Stande ist. Ich will daher hier die Beschreibung eines Apparates zum Glasschneiden beifügen, dessen ich mich schon seit vielen Jahren für diesen Zweck bedient habe. Derselbe ist übrigens ganz einfach, so dass ihn jeder Zimmermann oder Schreiner, so wie er Fig. 19 abgebildet ist, anfertigen kann. Es stellt nämlich *abcd* eine kleine Tafel von gutem trockenen Eichenholze vor, 0,5 Meter lang, 0,2 Meter breit und 1 Centimeter dick. Die Mitte derselben trägt eine Leiste *ef* mit einer eingesägten Rinne; diese soll die Bewegung des Diamanten leiten und muss deshalb hinlängliche Breite haben, um das platte Stahlstück, worin

Fig. 19.



Harting's Glasschneideapparat.

dieser gewöhnlich gefasst ist, aufzunehmen. Die Ränder dieser Rinne müssen ganz gerade und eben sein. Die Leiste liegt nur bei *e* und *f* auf der Holztafel auf; in der Strecke von *m* bis *n* bleibt sie so weit von der letzteren abstehend, dass auch das dickste Glas, welches man durchschnitten wünscht, eingeschoben werden kann. Von der Mitte der Leiste soweit entfernt, als man die Glastäfelchen breit haben will, befindet sich eine zweite kürzere Leiste *gh*, die der ersteren parallel verläuft. Ferner sind an der anderen Seite die beiden rechtwinkelig verbundenen Leistchen *iq* und *io* angebracht, und an der ersteren sitzt noch ein dünneres Leistchen *sp*, welches, gleichwie die Strecke *mn*, die Oberfläche der Tafel nicht berührt; doch ist hier das Ende *p* nicht unterstützt, weil dieses der Kürze halber nicht nöthig ist, und weil es auch beim Gebrauche hinderlich sein würde. Der Abstand des Leistchens *io* von dem nach vorn

Ein ganz anderes Verhältniss zwischen Breite und Länge haben die Glastäfelchen des Giessener Vereins. Sie sind nämlich nur 48 Mm lang und 28 Mm breit, haben also etwa ein Verhältniss wie 1,7 : 1,0. Der Hauptvortheil bei dieser Form ist, dass solche Täfelchen auf dem Objecttische des Mikroskopes, falls dieser nicht gar zu klein ist, herumgedreht werden können. Wegen der grösseren Breite bleibt noch Raum genug übrig, um zur Seite des Präparates mit einem Schreibdiamanten, oder mittelst Tinte auf ein aufgeklebtes Stückchen Papier die nöthige Charakteristik zu verzeichnen. Da nun auch die Vereine in Dresden und in Leipzig sich bereit erklärt haben, von dieser Form weiterhin Gebrauch zu machen, so ist zu vermuthen, dass dieselbe in Deutschland wenigstens allgemeineren Eingang finden wird.

Digitized by Google

sehenden Rande des Leistchens *sp* muss etwa 2 Millimeter weniger betragen, als der Abstand von *gh* bis zur Mitte der auf *mn* befindlichen Rinne; der Abstand von *io* bis zu dieser Rinne dagegen ist gleich der gewünschten Länge der Objecttäfelchen. Auf der also eingerichteten Schneidetafel kann man mittelst eines guten Glaserdiamants die Objecttäfelchen und Deckplättchen anfertigen. Man nimmt dazu Stückchen Spiegelglas, die man als Abfall von Spiegeln leicht für weniges Geld von jedem Spiegelfabrikanten erhält. Hat das Glas keinen geraden Rand, so hat man zunächst einen solchen herzustellen, indem man die Tafel als Lineal benutzt. Dann bringt man die Glasplatte dergestalt unter die Leiste *ef*, dass ihr gerade geschnittener Rand an die Leiste *gh* stösst, hält den Diamanten in die Rinne und erzeugt nun einen Ritz auf dem Glase. Der also geformte Streifen wird abgebrochen, und indem man neuerdings auf gleiche Weise verfährt, erhält man lauter Streifen, die vollkommen gleiche Breite haben. Will man breitere Streifen, so setzt man den Diamanten nicht in der Rinne ein, sondern man hält ihn an den Rand der Leiste *ef*. Sind die Streifen an dem einen Ende rechtwinkelig abgeschnitten, dann werden sie nach einander in kleinere Plättchen getheilt, indem man sie der Leiste *iq* parallel legt, so dass ihr Ende an *io* stösst. Objecttafeln von der verlangten Länge bekommt man, wenn der Diamant bei *m* in die Rinne gesteckt wird; um dagegen Deckplättchen zu schneiden, wird der Diamant längs *sp* hin geführt. So oft ein Schnitt verrichtet worden ist, wird der Glasstreifen nach dem freien Theile *v* hingeschoben und das Stück am Rande der Holztafel zwischen *o* und *r* abgebrochen.

Das Mattschleifen der Ränder bewirkt man am schnellsten auf einem runden Schleifsteine, der durch ein Rad gedreht wird. In dessen Ermangelung kann man aber auch sehr gut ein Stück dickes Spiegelglas und Tripelpulver mit Wasser nehmen. Zu Ende des Schleifens wird dann das Tripelpulver vom Glase abgespült und letzteres allein als Schleifoberfläche verwendet.

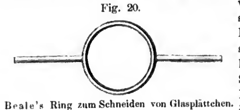
Ich habe früher (I, §. 160) nachgewiesen, dass es gut ist, wenn man 50
Deckplättchen von verschiedener Dicke hat. Benutzt man Spiegelglas, so kann man sich eine Reihe von Deckplättchen anlegen von 3^{mm} oder auch noch mehr Dicke bis zu $^2/_3{}^{mm}$ herab. Diese sind zwar bei den meisten Objecten und bei Objectivsystemen von nicht zu kurzer Brennweite recht gut brauchbar: man bedarf aber auch einer Anzahl noch dünnerer Deckplättchen. Man bekommt jetzt aus den Mikroskopwerkstätten solche Deckplättchen, die nur $^1/_5{}^{mm}$, ja nur $^1/_7{}^{mm}$ dick sind. Das dünne Deckglas, woraus sie geschnitten sind, kommt auch in Platten im Handel vor, und aus solchen Platten kann man sich mittelst des Lineals und Diamants Stückchen von der gewünschten Grösse und Form schneiden.

Will man runde oder elliptische Deckplättchen ausschneiden, so em-

Digitized by Google

pfiehlt sich die Methode von L. Beale (*Quart. microsc. Journ.* I, p. 54). Dieser benutzt nämlich einen messingenen Ring (Fig. 20), etwa einen gewöhnlichen Gardinenring, der sich auch in die elliptische Form biegen lässt, wenn man so geformte Deckplättchen zu haben wünscht. Zu beiden Seiten des Ringes sind zwei Messingdrähte angelöthet, um ihn auf dem Glase, woraus das Deckplättchen geschnitten werden soll, festzuhalten. Man führt dann den Diamant längs der Innenseite des Ringes hin. Um das Deckplättchen weiterhin aus dem umschliessenden Glase lösen zu können, ist es räthlich, von dem gezogenen Kreise aus mit dem Diamanten Striche nach aussen zu führen, worauf dann die dazwischen liegenden Theile des Glases sich leicht ausbrechen lassen.

Fig. 20.



Beale's Ring zum Schneiden von Glasplättchen.

Wer im Besitze einer Drehbank ist, kann sich solche runde Deckplättchen mit dem Diamanten aus einer grösseren Glastafel schneiden, die mit Kitt auf eine glatt geschliffene Scheibe befestigt wird. Das ist jedoch beschwerlich und zeitraubend, weil das Glas nun wieder vom Kitte frei gemacht werden muss. Deshalb empfiehlt sich der neulich von Dr. Rollmann (*Polytechn. Journ.* CLXXIII, S. 97) gemachte Vorschlag, die Glastafeln einfach durch Luftdruck auf der unterliegenden Scheibe zu befestigen. Letztere hat zu diesem Zwecke zwei kreisrunde Gruben, von denen die äussere einen etwas kleineren Durchmesser hat als das Deckplättchen, welches ausgeschnitten werden soll. Beide Gruben stehen durch einen queren Einschnitt mit einander in Verbindung. Davon geht ein Kanälchen aus, welches in den die Scheibe tragenden Cylinder gebohrt ist; es steht mit einem anderen, senkrecht zum Cylinder gestellten Kanälchen in offener Verbindung, und öffnet sich so nach aussen in ein kurzes Röhrchen, woran eine kleine Kautschukkugel gebunden ist. Legt man also die Glastafel, während die Kautschukkugel comprimirt ist, auf die Scheibe, so wird sie fest angesaugt, sobald man mit der Compression aufhört *).

In Ermangelung von Glas kann auch Glimmer benutzt werden. Der Glimmer kommt im Handel in dicken Stücken vor, und in diesem Zustande ist er in der Regel mehr oder weniger röthlich oder gelblich gefärbt; in den dünnen Plättchen indessen, deren man sich zum Bedecken

*) Vielleicht wird man von diesem Hülfsmittel auch noch andere nützliche Leistungen zu erwarten haben. Man wird vielleicht auf diesem Wege Glastäfelchen auf dem Objecttische des Mikroskopes befestigen und damit die lästigen Klammern vermeiden können. Die Einrichtung würde natürlich dafür etwas verändert werden müssen.

Digitized by Google

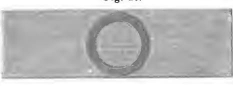
der Objecte bedient, pflegt diese Färbung ganz zu verschwinden. Am besten ist es, man verschafft sich einen Vorrath rohen Glimmers und spaltet diesen selbst in dünne Plättchen. Dieses Spalten wird unter destillirtem Wasser vorgenommen, und man kann das platte Heft eines Scalpells dabei benutzen, um die Blätter ohne Beschädigung der Oberflächen von einander zu trennen. Beim Trocknen werden sie vor Staub geschützt und dann zwischen Papier aufgehoben. Um sie als Deckplättchen zu benutzen, lassen sie sich leicht mit einer Scheere zuschneiden. Man nimmt aber nur die ganz durchsichtigen Partien, welche möglichst frei von Rissen und sonstigen Ungleichheiten sind.

Wenn ein Object ganz dicht ans Mikroskop gebracht werden muss, oder wenn dasselbe so zart ist, dass es selbst durch den schwächsten Druck eines Glas- oder Glimmerplättchens verletzt wird, dann kann man noch die sogenannte Glashaut benutzen. Eine Glasröhre wird nämlich an dem einen Ende zugeschmolzen, das geschlossene Ende wird alsdann stark erhitzt und hierauf treibt man mit einer gewissen Kraft durch das offene Ende Luft ein: es bildet sich eine grosse Glaskugel, deren Wände so dünn sein können, dass sie kaum $^1/_{1000}$mm messen. Die Dünnheit und Durchsichtigkeit dieses Glashäutchens lassen nichts zu wünschen übrig; nur haftet der Uebelstand daran, dass es nicht ganz gerade, sondern stets etwas gekrümmt ist. Bei seiner grossen Zartheit legt es sich übrigens um die Objecte, und da man nur kleiner Stückchen bedarf, so ist die gebogene Fläche nicht gerade in hohem Grade hinderlich. Zum Aufbewahren von Objecten ist es seiner grossen Zerbrechlichkeit halber nicht zu benutzen.

Zu sehr vielen Untersuchungen sind Gefässe erforderlich, theils um 51
die Objecte darin zu zergliedern, theils um sie, von der einen oder der anderen Flüssigkeit umgeben, unters Mikroskop zu bringen. Zu dem erstgenannten Zwecke kann man irdene Teller oder kleine Schüsseln, für kleinere Gegenstände aber auch Uhrgläser mit Nutzen verwenden. Damit die letzteren feststehen, bringt man sie in die entsprechende Oeffnung einer kleinen Tafel aus Holz oder Kork, deren Ränder zum Ueberflusse noch mit etwas Wachs bestrichen werden können. Für ganz kleine Gegenstände benutzt man dicke Glasplatten, an denen eine oder auch mehrere muldenförmige Höhlen ausgeschliffen sind. Darin liegen aber die Objecte niemals in einer geraden Fläche, die doch zur Erlangung einse reinen Bildes im Gesichtsfelde erforderlich ist, und deshalb hat man in letzterer Zeit mit Recht Glasringen (Fig. 21) den Vorzug gegeben, oder auch mit runder Oeffnung versehenen Glasplatten, die mittelst Kautschukfirniss oder mittelst Seeleim (*marine glue*) auf Objecttafeln befestigt werden. Die Ringe, besonders aber die Platten, sind eine sehr brauchbare Beigabe zum Mikroskope. Man kann sich dieselben auch selbst anferti-

gen, die Ringe nämlich dadurch, dass man sich dergleichen von Glasröhren auf der Drehbank abschneidet und ihre Ränder dann auf die früher erwähnte Weise glattschleift, die durchbohrten Glasplatten dadurch, dass man ein messingenes Rohr von der erforderlichen Weite an einem Bohrapparate befestigt und denselben unter Benutzung von Tripelpulver und Wasser wirken lässt.

Fig. 21.



Präparirtrog mit Glasring.

Auf eine der drei folgenden Arten kann man sich indessen mit weniger Mühe recht brauchbare kleine Tröge oder Hohlgeschirre verschaffen.

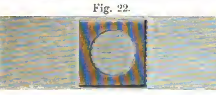
a. Kautschuktröge. Im Handel kommen jetzt Kautschukplatten von verschiedener Dicke vor. Die dünnsten sind etwa 1^{mm} dick; aus ihnen kann man Platten von beliebiger Dicke formen, da die Platten bei einiger Erwärmung leicht an einander kleben. In ein viereckiges, hinreichend grosses Stück einer solchen Platte wird eine Oeffnung gemacht, wozu man sich einer Scheere bedienen kann, oder die man mittelst eines passenden ringförmigen Meisels und eines Hammers herausschlägt. Um dann den Kautschukring auf einer Glasplatte zu befestigen, kann man den im Handel vorkommenden und in England verfertigten Seeleim nehmen, der durch Erwärmung flüssig wird. Ich selbst benutze hierzu schon seit vielen Jahren folgenden Leim, der den Zweck gleich gut erfüllt und leicht herzustellen ist. Auf 15 Theile Terpentinöl kommt 1 Theil fein zerschnittene Guttapercha, die bei mässiger Wärme und unter beständigem Umrühren darin aufgelöst wird. Diese Lösung giesst man dann durch ein Tuch, um die Unreinigkeiten zu trennen, die immer in der rohen Guttapercha enthalten sind. Der reinen Solution wird hierauf 1 Theil Schellack zugesetzt, das sich bei mässiger Wärme und unter beständigem Umrühren darin auflösen muss. Man fährt aber so lange mit Erwärmen fort, bis ein auf eine kalte Platte gegossener Tropfen beinahe erhärtet. In diesem Zustande eignet sich der Leim zum Gebrauche. Muss er späterhin wieder geschmolzen werden, so setzt man ihm vor dem Erwärmen etwas Terpentinöl zu.

Das Aufkleben des Kautschukringes mittelst dieses Leims wird auf folgende Weise bewirkt. Den Ring legt man auf den Tisch und darauf die Glastafel, so dass diese überall gleichweit den Ring überragt. Mittelst eines Pinsels streicht man nun den warmen Leim da, wo der unterliegende Ring durchscheint, auf die Glastafel, aber nur in dünner Schicht, weil sonst das Ueberflüssige weiterhin an den Rändern heraustreten würde. Hierauf wird der unterliegende Ring auf die mit Leim bestrichene Partie der Glastafel aufgesetzt und die Glastafel über Feuer leicht erwärmt; zu-

letzt aber bringt man das Ganze, und zwar den Ring nach unten gekehrt, auf ein kaltes Stück Spiegelglas, bis der Leim erkaltet und hart geworden ist.

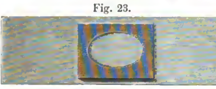
b. Guttaperchatröge. (Fig. 22 und 23.) Die Guttapercha kommt jetzt ebenfalls in Lamellen von verschiedener Dicke im Handel vor. Diese sind oftmals nicht ohne Weiteres zur Anfertigung kleiner Tröge verwendbar, weil die Guttapercha nach einiger Zeit an der Luft sich blättert und bröckelig wird. Dieser Unvollkommenheit lässt sich aber abhelfen, wenn man die Guttapercha in kochendes Wasser taucht, wodurch die frühere Biegsamkeit wiederkehrt.

Fig. 22.



Runder Guttaperchatrog.

Fig. 23.



Ovaler Guttaperchatrog.

Bei der Anfertigung von Guttaperchatrögen verfährt man am besten in folgender Weise. Aus der Guttaperchalamelle wird mit einer Scheere ein länglich viereckiges Stück ausgeschnitten, nicht ganz so breit als die Glastafel, welche zur Unterlage dienen muss. Dieses Stück taucht man ebenfalls in kochendes Wasser, legt es noch nass auf die ebene, ebenfalls nass gemachte Oberfläche eines Stückes Holz, und schlägt mittelst Hammer und Hohlmeisel, dessen Durchmesser ein Kreis oder eine Ellipse ist, den mittleren Theil heraus. Der so erhaltene Guttaperchaأring, der nur eine Dicke von 3 bis 4 Millimeter zu haben braucht, wird zum zweiten Male in kochendes Wasser getaucht, hierauf rasch aber sorgfältig an der Unterseite getrocknet, so dass keine Spur von Wasser mehr vorhanden ist, und jetzt, noch ziemlich warm und weich, auf das dafür bestimmte Glastäfelchen gelegt. Wird nun mit einer zweiten geraden Glasplatte, die mit Wasser befeuchtet ist, einige Augenblicke auf die Oberfläche ein gleichmässiger Druck ausgeübt, so ist der kleine Trog fertig, weil die trockene, erwärmte Guttapercha von selbst der ebenfalls trockenen Oberfläche der Glastafel anklebt. Nöthigenfalls kann man dieses Ankleben noch dadurch unterstützen, dass man die Theile über einer Alkohollampe schwach erwärmt.

Solche Guttaperchatröge kann man in einem kurzen Zeitraume in grösserer Anzahl anfertigen. Sie haben fast eben so gerade Ränder, als die viel kostspieligeren Glasringe und erfüllen den Zweck gleich gut wie diese.

c. Wenn auch die Tröge aus einer dieser beiden Substanzen fast

für alle Zwecke vollkommen ausreichen, so giebt es doch Fälle, wo **Glasströge** den Vorzug verdienen. Diese kann man sich aber auch leicht auf folgende Weise verschaffen. Zuvörderst braucht man ein Paar Glasstreifen von passender Breite, mit parallelen Rändern und rechtwinkelig abgeschnittenen Enden, so dass sie gehörig an einander liegen und zusammen ein Rectangel bilden, etwa wie Fig. 24. Zu diesem Behufe zieht man auf einem Papiere (Fig. 25) mehrere Linien *aa* in Distanzen, welche

Fig. 24.

Viereckiger Glastrog.

Fig. 25.

Liniirtes Papier zur Bildung von Glasstreifen.

der gewünschten Breite der Glasstreifen gleichkommen, also etwa 3 Mm von einander. Senkrecht auf diese Linien werden dann andere Linien *bb* gezogen, deren Zwischenraum der gewünschten Länge der Glasstreifen entspricht. Dieselben müssen natürlich von zweierlei Grösse sein, wenn man ziemlich quadratische Tröge haben will. Die Abstände der Linien nimmt man dann so, dass ein kürzerer Abstand immer mit einem längeren abwechselt. Diese Vorsicht erscheint aus dem Grunde nicht überflüssig, weil das meiste Spiegelglas an der einen Seite dicker ist als an der anderen; wenn daher der kleine Trog eine möglichst gleiche Oberfläche bekommen soll, so müssen zu seiner Zusammensetzung immer Streifen benutzt werden, die sich ganz dicht bei einander befinden.

Mit einem solchen liniirten Papiere, einem Lineal und einem Diamanten fällt es nicht schwer, die nämlichen Linien auch auf Glas zu ziehen. Beim Auftragen beider Classen von Linien ist jedoch darauf zu achten, dass sie auf die entgegengesetzten Oberflächen der Glastafel kommen. Denn wenn Querlinien über senkrechte Linien hingezogen werden, so läuft man Gefahr, dass an den Winkeln kleine Glassplitter ausspringen.

Besitzt man eine solchergestalt getheilte Glasplatte, dann kann man mittelst des oben beschriebenen Guttaperchaleims in kurzer Zeit eine

Digitized by Google

grosse Anzahl Tröge aus den abgebrochenen Glasstreifen zusammensetzen. Man nimmt vier einander nahe befindliche Glasstreifen, zwei längere und zwei kürzere, streicht auf der einen Fläche sowie dort, wo zwei Streifen an einander stossen, etwas von jenem Leime auf und reiht dieselben auf einer Objecttafel zu einem Vierecke zusammen. Damit der Leim sich noch besser ausbreitet, wird das Ganze leicht erwärmt und nöthigenfalls werden die Streifen noch etwas an einander angedrückt. Nach erfolgter Abkühlung ist ein solcher kleiner Trog für alle Fälle brauchbar, ausser wenn Alkohol, Aether oder flüchtige Oele hineinkommen; denn diese würden den Leim lösen. Ebenso versteht es sich von selbst, dass sie nur bei gewöhnlichen Temperaturen Anwendung finden können. Uebrigens müssen diese Glaströge sowohl wie die Kautschuk- und Guttaperchatröge immer so aufbewahrt werden, dass der kleine Trog nach unten sieht, um das Einfallen von Staub zu verhüten.

Grössere Glaskästchen zum Zergliedern von Objecten oder zur Aufnahme grösserer Gegenstände, die man unter Wasser betrachten muss, lassen sich auf ähnliche Weise herstellen, wozu es keiner besonderen Anweisung bedarf. In den meisten Fällen soll aber blos Wasser in solche Kästchen kommen, und der grösseren Festigkeit halber ist es deshalb besser, die Wandungen aus Blech zu machen und darin einen Boden aus dickem Spiegelglas mittelst einer mit Mennige angemachten Stopffarbe zu befestigen. Der Sicherheit halber können die Ränder auch noch mit Guttaperchaleim angestrichen werden.

Zur Anfertigung sehr seichter Glaströge hat L. Beale (*Quart. Journ.* I, p. 56) noch ein gutes Verfahren angegeben, welches darauf beruht, dass, wenn ein dünnes Deckglas mit Seeleim befestigt ist, Sprünge in demselben sich nur bis zum Befestigungspunkte ausbreiten. Auf einen der gläsernen Ringe, die zur Anfertigung tieferer Tröge benutzt werden, klebt man mit Seeleim und unter Wärmeanwendung ein Plättchen dünnen Deckglases. In dieses bohrt man mit einer dreikantigen Feile ein Loch und erweitert dieses, bis die Oeffnung in dem dünnen Glasplättchen gleich gross geworden ist, als jene in dem Glasringe. Durch Erwärmung wird dann das durchbohrte Plättchen von dem Ringe abgelöst, und nun kann man es unmittelbar auf eine Glasplatte befestigen.

Eine andere Methode, Oeffnungen in Glasplatten zu bohren, gründet sich auf die Eigenschaft des Glases, dass es mit Terpentinöl benetzt weit weniger brüchig ist. Darauf hat T. S. Ralf in Wellington auf Neuseeland aufmerksam gemacht (*Quart. Journ.* 1858. XXII, p. 34), und ich habe das Verfahren mit Erfolg praktisch verwerthet *). Eine Glasplatte, die nicht zu dünn sein darf, bringt man auf ein mehrfach zusammengelegtes Stück

*) Es ist dieses Verfahren schon seit längerer Zeit in der Technik bekannt. Ich sah es vor vielleicht mehr als 25 Jahren durch meinen Collegen Professor Gerber in Bern mehrfach in Anwendung gebracht. (Theile.)



Fliesspapier, so dass die Mitte, wo das Loch gebohrt werden soll, drauf zu liegen kommt. Durch einen Zwickbohrer mit gut gehärteter Spitze, die dreiseitig oder mehrseitig sein kann und in Terpentinöl getaucht wird, bohrt man ein kleines Loch hinein. Um dieses kleine Loch zu vergrössern, nimmt man eine runde Feile, einen sogenannten Rattenschwanz, benetzt diese ebenfalls mit Terpentinöl und dreht sie immer in der nämlichen Richtung. Greift man zu immer dickeren Feilen, so kann man eine beliebig grosse Oeffnung bekommen. Bei einiger Geschicklichkeit braucht man sich nicht leicht vor einem Springen des Glases zu fürchten. Man kann aber auch zu noch grösserer Sicherheit zuerst mittelst Schellack oder Wachs eine Messingplatte aufkleben, worin sich eine Oeffnung von der beabsichtigten Grösse befindet. Nach dem inneren Umfange dieses Loches ritzt man mit einem Glaserdiamanten und verfährt dann weiter auf die angegebene Weise. Solche durchbohrte Glasplatten klebt man mit Canadabalsam oder einem Kitte auf eine zweite Glastafel, und so hat man kleine Tröge. Man kann auch zwei oder mehr Löcher in die eine Glasplatte bohren, und damit eben soviele Tröge herstellen.

Statt der kleinen Tröge benutzt Welcker (*Ueber die Aufbewahrung mikroskopischer Objecte.* 1856, S. 10) eine Zwischenlage von Wachs, die je nach der Dicke des Objectes ungleich dick ist. Er nimmt nämlich eine kleine Wachsrolle, die am Ende meiselförmig abgeschnitten ist, erwärmt sie an einer Spirituslampe, so dass das Wachs langsam, ohne Tropfen zu bilden, auf die vier Ecken an der Untenfläche des Deckplättchens fliesst und dort gleichsam vier Füsschen bildet. Wird hierauf das Deckplättchen auf das Object, welches auf einer Glastafel in einer Flüssigkeit befindlich ist, gelegt und angedrückt, so breitet sich das Wachs etwas aus und die überschüssige Flüssigkeit fliesst weg. Wirklich lassen sich durch dieses einfache Hülfsmittel in vielen Fällen die verschiedenen Tröge recht gut ersetzen, wenn nicht eine zu grosse Dicke der Präparate hinderlich ist, wie es bei den meisten injicirten und nass aufbewahrten Geweben der Fall zu sein pflegt.

Man kann sich aber auch noch auf manche andere Arten recht gut Zellen oder Tröge verschaffen, theils permanente zur Aufbewahrung von Präparaten, theils transitorische, wodurch nur der Druck des Deckgläschens beschränkt werden soll.

Ein recht zweckmässiges Verfahren, das namentlich für Pflanzenpräparate passt, habe ich durch meinen Amsterdamer Collegen C. A. J. A. Oudemans kennen gelernt. Eine Anzahl Zellen oder Ringe werden in Papier ausgeschnitten und in Alkohol aufbewahrt, um die Luft daraus fortzuschaffen. Eine solche Papierzelle legt man dann im noch feuchtem Zustande einfach auf das Glastäfelchen, so dass das Präparat innerhalb der Oeffnung befindlich ist, und darüber kommt ein Deckgläschen. Man kann ferner mit den verschiedenen Firnissen, mit Oelfirniss, mit Seeleim,

Digitized by Google

mit Kautschuk- oder Guttaperchasolution, mit Asphaltlack, mit einer Lösung von Canadabalsam in Chloroform und ähnlichen Substanzen niedrige Zellen herstellen. Schon vor vielen Jahren benutzte Oschatz dazu die im Handel vorkommenden dünnen Mundleimohlaten. Er klebte eine solche kleine Ohlate, die eben angefeuchtet worden war, auf ein Glastäfelchen, und beschrieb nun längs des Randes mit einem Pinsel einen Firnissring. War dieser trocken, dann kam das Glastäfelchen in Wasser, der Mundleim liess wieder los und wurde fortgeschafft. Auch jetzt noch ist dieses Verfahren anwendbar, um runde Zellen herzustellen. Noch einfacher ist es, wenn man ein Stück Papier, worauf das Modell der beabsichtigten Zelle mit Tinte aufgetragen ist, unter das Glastäfelchen legt. Mag dieses Modell vierseitig oder rund sein, bei einiger Uebung mit dem Pinsel wird man dasselbe ziemlich genau auf dem Glastäfelchen auftragen können. Wer diese Uebung nicht hat, der kann auch einen Zirkel benutzen, dessen eine Spitze auf einem Scheibchen von Holz oder Pappe ruht, welches durch etwas Gummi vorübergehend in der Mitte des Glastäfelchens angeklebt wird, während am anderen Schenkel des Zirkels ein Pinselchen befestigt ist, so dass ein Kreis vom beliebigem Umfange gezogen werden kann.

Shadbold und Hett haben für diesen Zweck besondere kleine Apparate, die im Wesentlichen aus einer horizontal sich drehenden kleinen Scheibe bestehen, auf der das Glasplättchen durch Klammern festgehalten wird. Dreht man die Scheibe herum, während ein in die zweckdienliche Masse getauchter Pinsel gegen die Glastafel angedrückt wird, so bekommt man eine runde Zelle. Wer eine besondere drehbare Objecttafel bei seinem Mikroskope hat, kann sich derselben zu dem nämlichen Zwecke bedienen.

Bei manchen Zergliederungen ist es nöthig, das Object zu befestigen. 52
Hierzu dienen Korkplatten, auf denen das Object mit Nadeln angesteckt wird. Sind die Theile des Objectes sehr fein und, wie es meistens der Fall ist, weisslich oder hell, dann ist es räthlich, die Oberfläche der Korkplatte mit einer russhaltigen, gleichmässig schwarz gefärbten Wachsschicht zu bedecken, oder noch besser kann man sie nach Strauss-Durckheim mit schwarzer Seide überziehen.

Viele feine Zergliederungen von Insecten, von Eingeweidewürmern u. s. w. werden unter Wasser vorgenommen; da müssen die Korkplatten auf Bleitafeln befestigt werden, wozu gewöhnliches Pech dienen kann.

Für manche Fälle kann man auch mit Vortheil ein anderes Hülfsmittel benutzen, das zuerst, so viel mir bekannt, von Strauss-Durckheim empfohlen worden ist, nämlich Gyps und Wasser in einem Verhältniss gemengt, dass es nach ein Paar Minuten zur Erstarrung kommt. Grössere Gegenstände legt man in einen solchen Gypsbrei, so dass sie

durch ihr Gewicht oder bei einem schwachen Drucke darin einsinken und in der also gebildeten Höhle, sobald das Gemenge einmal erstarrt ist, eben so fest liegen, wie die Auster an ihre Schaale angeheftet ist. Bei kleineren Gegenständen und solchen, an deren Oberfläche Auswüchse oder Haare vorkommen, ist weiter nichts nöthig, als dass man etwas von jenem Brei auf eine Glasplatte bringt und den Gegenstand darauflegt. Auch kann der Gyps nöthigenfalls auf verschiedene Art gefärbt werden. Um ihn schwarz zu färben, kann man das Gemenge statt Wassers mit Tinte versetzen. Muss aber die Zergliederung unter Wasser vorgenommen werden, so setzt man zu diesem Zwecke lieber Russ zu.

Bei der Zergliederung zarter Embryonen empfiehlt Rusconi (*Ann. des Sc. nat.* 1841, *Avril*), dieselben in vorher geschmolzenem Wachse auf eine der genannten Weisen zu befestigen.

53 Zu den Hülfsmitteln der mikroskopischen Untersuchung gehören ferner auch mehrere Glasstäbchen, die man sich leicht verschaffen kann, wenn man aus einer Glastafel Streifen von 2 bis 3 Millimeter Breite und 10 bis 15 Centimeter Länge schneidet und deren Enden in der Löthrohrflamme abstumpft, oder wenn man gleichlange Thermometerröhren an beiden Enden zuschmilzt. Diese Stäbchen werden vielfach benutzt, namentlich um Flüssigkeiten tropfenweise auf die Objecttafel zu bringen. Hierzu schicken sie sich besser als andere Hülfsmittel, weil sie ganz leicht gereinigt werden können.

Für manche Zwecke eignen sich auch Pipetten, wenn man z. B. eine Portion einer Flüssigkeit aufnehmen will, worin sich ein einzelnes Object oder ein Paar Objecte, wie kleine Wasserthierchen, Infusorien u. s. w., befinden, die isolirt werden sollen, oder wenn man ein Uebermaass von Flüssigkeit in einem Troge oder sonst wo entfernen will.

Manchmal sind jedoch die Flüssigkeitsmengen, mit denen man arbeitet, zu gering, als dass ihre Aufnahme durch eine gewöhnliche gläserne Pipette, und wäre sie noch so fein, geschehen könnte. Man kann dann einen Pinsel nehmen (Fig. 26), an dem man nach Strauss-Durckheim die oberflächliche Haarschicht zum Theil abgeschnitten hat: der Pinsel bekommt dadurch eine feinere Spitze und er saugt mehr Wasser auf als ein durchweg dünnerer Pinsel. Ein solcher Pinsel muss allemal erst nass gemacht werden, bevor man ihn in Gebrauch nimmt; das überflüssige Wasser aber drückt man zwischen den Fingern aus.

Zu dem genannten Zwecke dient auch ein fest zusammengerolltes Stückchen Fliesspapier, dessen Ende in den Tropfen gehalten wird, der entfernt oder vermindert werden soll.

Fig. 26.

Saugpinsel.

Eine zumal bei mikrochemischen Untersuchungen häufig vorkom- 54
mende Arbeit ist das Abspülen eines Objectes mit Wasser. Dazu lassen sich die eben beschriebenen Pipetten benutzen; noch besser eignet sich aber dazu eine **Spritzflasche**, die man sich leicht herstellen kann. Man braucht nur eine dünne Glasröhre mit enger Oeffnnng, etwa eine mässig weite Thermometerröhre, mittelst eines dnrchbohrten Korkes anf einer kleinen Flasche dergestalt zu befestigen, dass ein Ende der Röhre gerade unter der Oberfläche des Korkes in das Fläschchen hineinragt (Fig. 3, *r*). Nimmt man ein solches Fläschchen, welches zur Hälfte oder zum dritten Theil mit Wasser gefüllt ist, umgekehrt in die Hand, so dehnt sich die Luft durch die Wärme der Hand aus und treibt das Wasser aus der Oeffnung hervor. Natürlich kann man solche Spritzflaschen, wie für Wasser, so auch für andere Flüssigkeiten einrichten. Zn Alkohol, Aether, Oel, wässerigen Solutionen kann immer ein Kork genommen werden; bei Säuren nnd Alkalien dagegen muss man einen besonderen Pfropf von Kautschuk oder von Guttapercha anfertigen. Letzteres eignet sich besonders dazu, weil es dnrch Erwärmung jede Form annimmt.

Man kann aber anch solche Spritzflaschen nehmen, wie gegenwärtig unter den Glaswaaren zu chemischem Gebranche überall zu finden sind. In ein kleines cylindrisches Fläschchen mit enger Oeffnung ist der weitere Theil eines Pipettenrohres eingeschliffen, dessen Spitze bis nahe auf den Boden des Fläschchens reicht. Auf den Hals der Pipette passt ein eingeschliffener gläserner Stöpsel. Beim Gebrauche wird ein Theil der Pipettenkngel mit der im Fläschchen enthaltenen Flüssigkeit gefüllt, entweder dnrch Saugen oder indem man die Kugel erwärmt, wodnrch die Lnft znm Theil ausgetrieben wird und die Flüssigkeit in der Pipette aufsteigt, wenn diese hineintaucht. Ist die Kugel der Pipette theilweise gefüllt, so wird die Flüssigkeit durch die Wärme der Hand tropfenweise ausgetrieben, indem die rückständige Luft sich ansdehnt (Fig. 3, *o*). Derartige Spritzflaschen passen besonders bei Anwendung von Säuren.

Wegen ihrer Zerbrechlichkeit sind jedoch diese sonst ganz zweckmässigen Spritzflaschen doch nicht gut brauchbar. Wo daher die Anwendnng eines Tropfens der Flüssigkeit hinreicht, da verdienen andere Flaschen den Vorzug, die jetzt anch allgemein unter den chemischen Glaswaaren verkäuflich vorkommen und deren eine Fig. 3 *z* abgebildet ist.

Noch zweckmässiger sind Fläschchen, die meines Wissens znerst in der Angenheilkunde behufs der Eintröpfelung von Flüssigkeiten in Gebrauch gekommen sind, und die eigentlich nur eine Modification der eben beschriebenen Pipettenfläschchen darstellen (Fig. 27 a. f. S.). Anstatt in eine Kngel endigt die Pipette hier in einen Trichter mit umgebogenem Rande, und darüber ist eine Kautschnklamelle straff gespannt. Drückt der Finger auf diese Lamelle, so fliesst ein Tropfen aus der Oeffnung der Pipette.



Am einfachsten ist der Fig. 28 abgebildete Tropfapparat. Er besteht aus einer blind endigenden Kantschukröhre, in deren anderes Ende ein in eine feine Spitze auslaufendes Glasröhrchen fest eingefügt ist. Der Schluss am blinden Ende des Kautschukröhrchens macht sich von selbst, wenn man von einer längeren Kautschukröhre ein Stück mit einer etwas stumpfen Scheere abschneidet; die durchgeschnittenen Wände kleben dann eben zusammen. Die Anwendung dieses kleinen Apparates verlangt nichts weiter, als dass man das Kautschukröhrchen zwischen Daumen nnd Zeigefinger comprimirt und die gläserne Spitze in die Flüssigkeit taucht, sei dies Wasser, Essigsäure, Glycerin oder dergleichen. Lässt der Druck auf das Röhrchen nach, so steigt die Flüssigkeit von selbst empor, und bei erneutem Drncke tritt sie wieder aus. Auch als Spritze oder als Sangapparat ist diese kleine Vorrichtung zu benutzen.



Fig. 28. Tropfapparat.

Fig. 27. Tropffläschchen.

Eine zweckmässige Methode, um beim Anfertigen mikroskopischer Präparate überflüssige Theilchen, wodurch die Beobachtnng erschwert wird, zu entfernen, hat His (Frey, *Das Mikroskop*, S. 67) mitgetheilt. Die mit Wasser oder mit Glycerin befeuchteten Objecte werden mittelst eines gewöhnlichen Pinsels in rascher Folge in senkrechter Richtung betupft, und die Flüssigkeit wird dabei ernenert, um die ausgepinselten Theilchen fortzuschaffen. Das passt besonders für Objecte, die eine gewisse Härte besitzen, so namentlich nm die Amylumkörnchen auf Pflanzendurchschnitten fortzuschaffen, aber auch bei erhärteten Präparaten von thierischen Snbstanzen.

Die bis hierher aufgeführten Instrumente und Hülfsmittel reichen für die Mehrzahl der mikroskopischen Untersuchungen aus. Sonst noch erforderliche sollen bei der Beschreibung der nun folgenden mikroskopischen Zubereitungen mit angeführt werden.

55 Alle Einwirkungen, denen Objecte zum Behnfe der mikroskopischen Untersuchung unterliegen, haben den Zweck, dasjenige sichtbar zu machen, was ohne jene Znbereitung nicht sichtbar sein würde. In der Mehrzahl der Fälle ist jenes Nichtsichtbarsein nur die Folge davon, dass die

Digitized by Google

Objecte undnrchsichtig sind und diese Undurchsichtigkeit rührt wiederum von ihrer zu grossen Dicke her. Sehr vielen Körpern, namentlich allen organischen, kommt im strengen Sinne des Wortes die Undurchsichtigkeit, d. h. die Undnrchdringlichkeit für Lichtstrahlen, keineswegs zn; der einzige Grund ihrer in gewissem Betrachte scheinbaren Undurchsichtigkeit ist darin zu suchen, dass die kleinsten sie zusammensetzenden Theilchen eine solche Form besitzen, vermöge deren die aus einem anderen Medium eintretenden Lichtstrahlen augenblicklich in verschiedenen Richtungen gebrochen und reflectirt werden; deshalb ist schon eine Schicht von mässiger Dicke ihrem ferneren Fortgange hinderlich.

Das ganze Geheimniss, den inneren feineren Bau der Objecte sichtbar zu machen, läuft somit darauf hinaus, dass man sie in Schichten zerlegt, die fein genug sind, dass bei dem bestimmten Medium, worin das Object sich befindet, die Lichtstrahlen durch dasselbe bis zum Auge des Beobachters gelangen können.

Die Anfertigung dünner Durchschnitte gehört zu den häufigsten Arbeiten, die dem Mikroskopiker vorkommen, daher es jedem Anfänger nicht genngsam empfohlen werden kann, dass er sich die nöthige Fertigkeit darin aneignet. Man hat freilich mancherlei weiterhin zu beschreibende Instrumente für diesen Zweck ausgedacht. Bei allen findet sich hauptsächlich eine durch eine feine Schraube bewegte Vorrichtung, um die Objecte zu befestigen, deren vorragende Partie sich über einer durchbohrten Platte befindet und mittelst eines scharfen Messers, welches sich über die Platte bewegt, scheibenförmig abgeschnitten wird. Mittelst der Schraube, wodurch das Object höher oder tiefer gestellt werden kann, lässt sich die Dicke der Scheibe reguliren. Wenn nun aber anch nicht geläugnet werden kann, dass sich mit einem derartigen Apparate Durchschnitte herstellen lassen, die eine gleichmässigere Dicke haben als die aus freier Hand gewonnenen, so ist es doch eben so sicher, dass sie für die eigentliche mikroskopische Untersuchung wenig oder gar keinen Nntzen gewähren. Ihre eigentliche Bestimmung kann nnr die sein, Cabinetsstücke anzufertigen, die man wegen der Zierlichkeit der Form und des Gefüges sogenannten Liebhabern zeigt, z. B. Durchschnitte von Pflanzenstengeln und ähnlichen Gegenständen, die sich nnr schwer in hinlänglich dünnen Schnitten und dabei zugleich in der ganzen Dicke des Gegenstandes herstellen lassen.

Nur ein Fall ist mir bekannt, wo ein solches Instrument für wissenschaftliche Zwecke dienlich ist, wenn es sich nämlich darum handelt, die Elementartheile, welche inmitten anderer in einem Gewebe vorkommen, nnmerisch zu bestimmen. Man muss daun sehr genau die Dicke des genommenen Durchschnittes kennen, und diese Bedingung ist nnr mittelst eines derartigen Instrnmentes zu erfüllen, welches mit einer Mikrometerschraube und einem Index versehen ist und woran auch das Messer nicht

aus freier Hand geführt wird, sondern in einer dazu bestimmten Rinne läuft. Bringt man z. B. die später zu beschreibende Methode, nach welcher die Objecte im Gesichtsfelde gezählt werden, zugleich mit einem derartig eingerichteten Instrumente in Anwendung, so ist man im Stande, die Anzahl der Ganglienzellen in verschiedenen Abschnitten eines in Chromsäure oder in Alkohol erhärteten Rückenmarkes zu zählen. Der Druck, welcher angewendet werden muss, um den Durchschnitt durchsichtig zu machen, bringt in diesem Falle keinen Schaden: durch denselben werden nur die Ganglienzellen, welche früherhin eine etwas höhere oder tiefere Lage hatten, in die nämliche Ebene gebracht.

Bei wissenschaftlichen Untersuchungen bietet indessen das Anfertigen von Durchschnitten aus freier Hand einen gewissen Vortheil, weil gerade die partielle Trennung eines Theils manchmal Einzelnheiten des Gefüges deutlicher erkennen lässt, als wenn das Object ganz durchschnitten wird. Auf einem solchen partiellen Längsdurchschnitte eines Pflanzenstengels erkennt man vielleicht deutlich, dass die Punkte vieler getüpfelten Gefässe, wenn sie auch manchmal durch Verdünnungen der Membran erzeugt werden, doch oftmals wahre Oeffnungen sind. Man sieht es namentlich dann, wenn durch den Schnitt ein Theil eines solchen Gefässes der Länge nach getrennt wird und dieser Theil sich am Rande des Durchschnitts befindet. Auf solche Weise überzeugt man sich leicht vom Vorhandensein einer Höhle in den Knorpelzellen durch die einspringenden Vertiefungen an den unebenen Rändern des Durchschnitts, und so noch in vielen anderen Fällen.

56 Am häufigsten dient zu Durchschnitten ein Rasirmesser. Man benutzt dasselbe bei allen solchen Theilen, die dem Schnitte einen mässigen Widerstand entgegensetzen, wohin fast alle pflanzlichen Theile, Knorpel, getrocknete oder erhärtete thierische Gewebe gehören. Viele der letzteren gestatten aber auch im frischen und weichen Zustande mittelst des Rasirmessers ziemlich dünne Schnitte zu machen, dasselbe muss nur gehörig scharf sein.

Meistens hält man den Gegenstand, von dem man einen Durchschnitt will, nach oben gekehrt und schneidet dann nach sich zu. Weiche organische Körper von hinreichender Grösse fasst man zwischen Daumen und Zeigefinger; den Mittelfinger der nämlichen Hand hält man aber so, dass das Rasirmesser beim Führen des Schnitts darüber hingleitet.

Manchmal ist der Körper zu dünn oder zu biegsam, als dass sich auf diese Weise Durchschnitte davon machen liessen. Es ist dann besser, man legt ihn auf eine Korkplatte und führt den Schnitt nach unten.

Bei Körpern, die an und für sich feucht sind, ist es räthlich, vor dem Ausführen des Schnittes das Messer zu befeuchten: der angefertigte Schnitt lässt sich dann leichter ohne Quetschung vom Messer abheben.

Auch werden beim Durchschneiden mit einem trockenen Messer die feinen zusammensetzenden Theile leichter beschädigt, als wenn man mit einem benetzten Messer schneidet.

Sind die Körper hinreichend gross, um sie leicht in der Hand zu halten, so braucht man sie nicht auf andere Weise zu befestigen. Bei sehr kleinen Gegenständen muss man aber zu verschiedenartigen Befestigungsmitteln seine Zuflucht nehmen, die je nach der Art des zu untersuchenden Körpers abzuändern sind. 57

Am häufigsten kann man eine Gummilösung benutzen, ein Theil Wasser auf gleich viel Pulver von reinem arabischen Gummi. Ein Tröpfchen einer solchen Solution bringt man auf ein Objectgläschen und legt das Object hinein. Ist die Gummilösung durch Verdunsten des Wassers erhärtet, dann ist der Körper genugsam befestigt, um Durchschnitte davon zu machen.

Sehr kleine Körper mengt man mit der Gummisolution, und nachdem diese getrocknet ist, macht man davon Schnitte. Legt man diese Schnitte in Wasser, so löst sich das Gummi auf, und die kleinen, zum Theil durchschnittenen Objecte bleiben zurück. Auf diese Art kann man leicht Durchschnitte von Amylumkörnern, von Pollenkörnchen und ähnlichen kleinen Körpern bekommen.

In anderen Fällen kann man zugleich mit der Gummisolution noch ein anderes Hülfsmittel anwenden. Will man z. B. Durchschnitte von Haaren, von Fischschuppen u. s. w., so klebt man eine gewisse Menge derselben mittelst einer Gummisolution zusammen, die Haare bündelförmig, die Schuppen aber zu einer Lage von gewisser Dicke. Nun macht man in einen gewöhnlichen Korkstöpsel eine Rinne, die weit und tief genug ist, um das Haarbündel oder die Schuppenlage leicht aufzunehmen. Hierauf wird ein Draht um den Kork gewunden, so dass die Ränder der Rinne gegen einander gedrückt und die Objecte dazwischen festgehalten werden. Lässt man hiernach das Ganze trocknen, so kann man aus dem Korke und den darin steckenden Theilen Durchschnitte von grösster Feinheit machen. Der Vorzug dieser Methode besteht darin, dass der Kork selbst dem Messer eine grosse Schnittfläche bietet. Anstatt des Korkes kann man auch Fliederholzmark nehmen, das man nöthigen Falls in eine Schieberpincette einklemmt.

Um dünne Durchschnitte vom erhärteten Rückenmarke kleiner Thiere zu bekommen, hüllt Frey (*Das Mikroskop*, S. 67) dasselbe ins Rückenmark eines grösseren Thieres ein, so dass beide gleichzeitig durchschnitten werden.

Will man endlich von grösseren dünnen, plattenförmigen Gegenständen, wie Blasen, thierischen Häuten u. s. w., vertikale Durchschnitte, so klebt man dieselben mit Gummi auf eine Platte von Kork oder von

weichem Holz und macht auf gewöhnliche Weise Durchschnitte, die sich dann in Wasser von ihrer Unterlage lösen.

Pflanzenblätter, die der Schneide einen ausreichenden Widerstand bieten und bei denen es einerlei ist, wo der Durchschnitt erfolgt, braucht man nur einige Male um sich selbst zu wickeln, dann bieten sie dem Schnitte eine hinlänglich breite Oberfläche.

58 Bei thierischen Geweben ist nicht selten die grosse Weichheit ein Hinderniss, um gehörig dünne und durchsichtige Durchschnitte davon zu bekommen. Deshalb ist man schon lange auf verschiedene Mittel bedacht gewesen, solche Gewebe fester und härter zu machen, so dass das durchdringende Messer einigen Widerstand erfährt.

Das älteste und in den meisten Fällen auch zugleich vortheilhafteste Mittel besteht darin, dass man solche Gewebe bei mässiger Wärme trocknen lässt und im getrockneten Zustande Durchschnitte davon macht. Bringt man diese dann in einen Tropfen Wasser, so saugen sie dasselbe auf, sie dehnen sich aus und nehmen meistens wieder ganz die Form an, die sie im frischen Zustaude hatten. Man hat aber dabei auf folgende Punkte zu achten:

1. Niemals trockne man zu grosse Stücke eines Organs, weil die Austrocknung dadurch verzögert wird und zugleich zu besorgen steht, es würde bei dem Wärmegrade, dem das Gewebe ausgesetzt werden muss, in den tieferen Partien Verderbniss eintreten. Stücke von 5 bis 8 Millimeter Dicke sind am passendsten und bieten auch nach dem Einschrumpfen durchs Trocknen noch eine hinlänglich breite Schnittfläche.

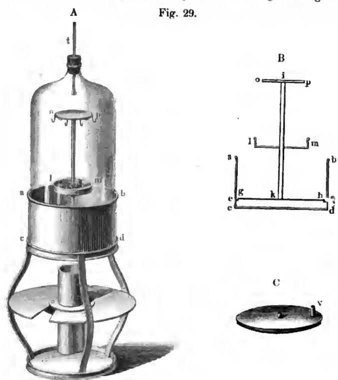
2. Das Trocknen muss bei einem passenden Wärmegrade vorgenommen werden. Bei zu niedriger Wärme erfolgt das Trocknen zu langsam und das Gewebe geht in Fäulniss über; bei zu hoch gesteigerter Wärme coagulirt das darin enthaltene Eiweiss. Im Allgemeinen kann man annehmen, der Wärmegrad darf 50° C. nicht überschreiten.

3. Enthält der Theil Fett, so wähle man zum Trocknen ein Stück, welches möglichst frei davon ist; das Fett schmilzt in der Wärme, und durchdringt nach Verdunstung des Wassers das Gewebe, so dass sich der Theil späterhin nicht wieder gehörig im Wasser ausdehnen kann, wenn die genommenen Durchschnitte nicht vorher mit Aether ausgezogen werden. Ist es nicht möglich, einen fettfreien Theil zum Trocknen zu verwenden, so muss man eine dünne Schicht bei einer Temperatur unter dem Schmelzpunkte des Fettes trocknen, also bei höchstens 40° C., da 50° C. der Schmelzpunkt für die reine Margarine ist, die im Menschenfette immer mit der schon bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen Elaine verbunden vorkommt.

4. Als Wärmequelle kann man im Sommer die Sonnenstrahlen verwenden, im Winter dagegen ist künstliche Wärme erforderlich. Da aber

die Gegenstände, wenn sie in der Luft hängen, durch den auffallenden Staub immer verunreinigt werden, so gebe ich dem Fig. 29 abgebildeten

Fig. 29.



Harting's Trockenapparat.

Apparate den Vorzug, mit dem auch zugleich eine entsprechende Temperaturregelung möglich ist. Bei A ist der ganze Apparat abgebildet, bei B nur ein Theil desselben im Durchschnitte; die Buchstaben bezeichnen aber bei A und B die nämlichen Theile. Es ist *abcd* der Durchschnitt eines runden Behälters, der oben offen ist. Bei *cf* befindet sich ein zweiter Boden, der lose auf einem vorspringenden Rande aufliegt. Der Raum zwischen *ef* und *cd* enthält feinen Sand. Auf *ef* liegt das runde Fussstück *gh* mit dem Pfeiler *ik* in der Mitte. An diesem Pfeiler, etwa am ersten Drittel seiner Höhe, ist der runde Kasten *lm* befestigt, der mit trocknem Chlorcalcium gefüllt wird. Am oberen Ende des Pfeilers *ik* befindet sich eine runde Platte *op* mit ein Paar Häkchen am Rande, welche dazu bestimmt sind, die zu trocknenden Theile mit Drähten daran aufzuhängen. Theile, die auf Glastäfelchen ausgebreitet sind,

kann man auf die Platte selbst legen. Eine das Ganze bedeckende Glasglocke, in deren Halse sich ein Thermometer *t* befindet, ruht auf dem zweiten Boden *ef*. Der ganze Apparat wird von einem passenden Fussstücke getragen; dasselbe besteht aus drei Säulen und einem Widerhalter. Zur Wärmeentwickelung dient eine Argand'sche Lampe. Alles ist aus starkem Blech gemacht, nur der Boden *cd* ist aus Messing *).

Oftmals benutze ich auch, namentlich wenn es keiner künstlichen Wärme bedarf, jenen Apparat, der in allen chemischen Laboratorien im Gebrauch ist, um Substanzen über Schwefelsäure zu trocknen. Er stimmt in mancher Beziehung mit dem oben beschriebenen Apparate überein; er hat aber einen cylindrischen Behälter aus Eisen und eine doppelte Wand, um Quecksilber aufzunehmen. Innen steht ein weites cylindrisches Glas, in welches die Schwefelsäure kommt, und darauf liegt ein Deckel aus Drahtgeflecht. Auf letzteren kommen die Objecte auf Glastäfelchen zu liegen. Das Ganze wird dann noch mit einer Glasglocke bedeckt, deren Rand zwischen den beiden Wandungen des eisernen Behälters in das Quecksilber taucht.

59 Ist nun auch das mit Sorgfalt ausgeführte Trocknen das zumeist anwendbare Mittel, um den Geweben die zur Anfertigung von Durchschnitten geeignete Härte zu ertheilen, so sind doch auch wieder Nachtheile damit verbunden; zudem ist dieses Mittel auch nicht in allen Fällen anwendbar. Unter den Nachtheilen ist zuerst der zu nennen, dass die einmal getrockneten Theile, wenn sie späterhin wieder in Wasser gelegt werden, das Volumen, welches sie im frischen Zustande besassen, nicht vollkommen wieder erlangen. Bei den Muskeln fand ich (*Recherches micrométriques* p. 59), dass der Durchmesser der getrockneten und durch Wasser wiederum aufgeweichten Primitivbündel zu jenem der frischen Primitivbündel sich verhielt = 1 : 1,31. Dagegen nehmen manche getrocknete thierische Gewebe, z. B. die Hornhaut, die Wandungen der Venen und Arterien, wenn sie im Wasser wiederum aufgeweicht werden, einen grösseren Raum ein als im frischen Zustande. Ein zweiter Nachtheil ist der, dass manche Elementartheile, z. B. die Primitivfasern der Sehnen und Bänder, beim Trocknen so stark zusammenkleben, dass sie späterhin, wenn sie von Wasser durchweicht werden, nicht mehr gesondert zum Vorschein kommen. Muss man nun auch zugeben, dass dieses Zusammenkleben in der Regel nicht stattfindet, da viele von den feinsten Elementartheilen, die Primitivfasern der Muskeln, die Nervenröhren u. s. w.,

*) Der nämliche Apparat kann auch zum Ausbrüten von Eiern benutzt werden. Es wird dann der Pfeiler *ik* mit dem Chlorcalciumbehälter u. s. w. weggenommen, und die Eier, gehörig in Baumwolle gewickelt, kommen in den offenen Theil des Behälters *abcd*. Darüber aber kommt ein Deckel (C), der bei *v* mit einer Oeffnung für das Thermometer versehen ist.

beim Trocknen keine sehr in die Angen fallende Veränderung erleiden, so ist es doch wünschenswerth, auch andere Erhärtungsmethoden in Gebrauch zu ziehen, um die auf verschiedenen Wegen erhaltenen Resultate mit einander vergleichen und dadurch zu einem zuverlässigen Schlusse gelangen zn können.

Zunächst kommen hier alle jene Flüssigkeiten in Betracht, welche das Eiweiss coaguliren oder unlösliche Verbindungen mit demselben bilden: Alkohol, Snblimatsolution, Salpetersäure, Chromsäure. Natürlich ist es nicht einerlei, welche von diesen Flüssigkeiten angewendet wird; die Zusammensetzung des zu untersuchenden Gewebes nnd die allgemeine Wirkungsweise der einzelnen Flüssigkeiten geben hier den Ausschlag. Auch darf man nicht vergessen, dass jene Flüssigkeiten physikalische und chemische Veränderungen in den Geweben herbeiführen; weshalb man immer auf der Hut sein muss, dass nicht Kunstproducte in den zusammensetzenden Theilen als natürlicher Znstand znr Anschauung kommen.

Verdünnter Weingeist von 10° bis 15° bringt unter diesen Flüssigkeiten die wenigsten Veränderungen hervor, und namentlich kann derselbe mit Nutzen bei vielen Organen angewendet werden, die zum grösseren Theil aus Fasern zusammengesetzt sind. Die Gewebe werden zwar dadurch nicht eigentlich hart, aber doch so fest, dass man mit Hülfe eines scharfen Rasirmessers ziemlich dünne Schnitte herzustellen im Stande ist, z. B. vom Uterus, von den Ovarien u. s. w. Will man stärker erhärten, so kann man einen stärkeren Weingeist nehmen; nur schrumpfen die Theile dann mehr oder weniger zusammen. Indessen lässt sich dies grösstentheils verhüten, wenn man die von Stilling empfohlene Methode befolgt, welche darin besteht, dass man den zu erhärtenden Theil zuerst in gewöhnlichen verdünnten Weingeist bringt, nach einiger Zeit aber in stärkeren und endlich in den stärksten, soviel möglich wasserfreien Alkohol. Die Zeit, wie lange jede dieser Flüssigkeiten in Anwendung kommen muss, hängt natürlich ganz vom Umfange des Theils ab, und deshalb lassen sich keine positiven Vorschriften darüber aufstellen. Bei dieser Methode erlangen Gehirn und Rückenmark eine solche Härte, dass man daraus gleich dünne und durchsichtige Schnitte bekommen kann, wie aus getrockneten Theilen. Es läuft aber dieses Verfahren auch wirklich auf eine Art Trocknung hinaus, denn es coagulirt dadurch nicht blos das Eiweiss, sondern der Alkohol nimmt auch das im Gewebe enthaltene Wasser auf. Wenn aber durchs blosse Trocknen die Elementartheile zusammenfliessen und das Gewebe dadurch ganz formlos und unkenntlich wird, so bleiben letztere hier gehörig von einander gesondert, so dass man sie in ihrer relativen Lagerung gut erkennen kann, wenngleich sie natürlich durch die Alkoholeinwirkung etwas von der feineren Structur verloren haben.

Für Untersuchungen des Rückenmarkes wurde die Erhärtung durch

Weingeist auch von Clarke empfohlen; die gewonnenen Schnitte behandelt er dann mit einer Mischung aus 1 Theil Essigsäure und 3 Theilen Weingeist. Eine viel grössere Durchsichtigkeit erzielt er aber auf folgende Weise. Die Schnitte werden erst in eine Mischung von Essigsäure und Weingeist gelegt und nach ein Paar Stunden in blossen Weingeist, worin sie eben so lange bleiben, hierauf aber bringt man sie in Terpentinöl, welches den Weingeist in der Form dunkeler Kugeln oder Tropfen austreibt und die Schnitte durchscheinend macht, die man zuletzt mit Canadabalsam bedeckt.

Das bei diesem Verfahren vorschwebende Ziel, nämlich Beförderung der Durchsichtigkeit des Präparats, wird dadurch freilich erreicht, nur ist der Nachtheil damit vergesellschaftet, dass gerade in Folge dieser grossen Durchsichtigkeit viele feinere Einzelnheiten sich der Wahrnehmung entziehen. Es eignet sich aber dieses Verfahren ganz gut dazu, bei einer geringen Vergrösserung eine allgemeine Uebersicht über das Gefüge zu verschaffen.

Zur Untersuchung der feineren Textur ist es übrigens erspriesslicher, man befeuchtet die in Weingeist erhärteten Schnitte mit einer Auflösung von Chlorcalcium, deren sich Schroeder van der Kolk zuerst zu diesem Zwecke bedient hat. Doch ist dabei immer eine mässige Compression des Präparats erforderlich. Auch Glycerin habe ich manchmal mit Vortheil dazu benutzt.

Thierische Gewebe schrumpfen auch in einer Sublimatsolution zusammen. Ueberdies werden sie aber dadurch so undurchsichtig, selbst bei grosser Verdünnung der Solution, dass man selten zu diesem Erhärtungsmittel greift. Nur in einem Falle verdient der Sublimat vor anderen Flüssigkeiten den Vorzug, wenn man nämlich die Capillaren mit den noch darin enthaltenen Blutkörperchen untersuchen will, weil unter allen Substanzen der Sublimat, soviel mir bekannt, die geringsten Veränderungen in den Blutkörperchen erzeugt. Es darf aber die Solution nur $^1/_{100}$ bis $^1/_{50}$ Sublimat enthalten.

Salpetersäure ist in manchen Fällen brauchbar, z. B. zur Untersuchung der Krystalllinse. Doch muss die concentrirte Säure vorher mit 4 bis 5 Theilen Wasser verdünnt werden, und die Krystalllinse zieht man, bevor man Durchschnitte macht, wiederum mit Wasser aus, um die Säure zu entfernen, weil sonst durch diese die Messer würden angegriffen werden. Auch zur Zergliederung sehr kleiner Embryonen kann die Salpetersäure nach Rusconi (*Annales des Sc. natur. Avril* 1841) benutzt werden. Man befeuchtet die Embryonen mit einer mit 8 Theilen Wasser verdünnten Säure.

Auf die Chromsäure haben zuerst Jacobi und dann Hannover (Müller's *Archiv* 1840, S. 549) aufmerksam gemacht; dieselbe ist für viele Fälle recht brauchbar. Im sehr verdünnten Zustande, wo die Chrom-

säuresolution eine strohgelbe Farbe hat, ist sie zum Härten des Rückenmarkes, des Gehirns u. s. w. zweckdienlich. Ist sie etwas concentrirter, so vermag sie eiweisshaltige Flüssigkeiten, die in Höhlen eingeschlossen sind, z. B. die Glasfeuchtigkeit des Auges, zu coaguliren, so dass es möglich wird, die Häute zu entdecken, wodurch solche Höhlen fächerig abgetheilt werden. Dabei ist indessen zu berücksichtigen, dass alle von der Chromsäure durchzogenen Organe eine gelbgrüne Färbung bekommen. In einzelnen Fällen ist dies zwar vortheilhaft, namentlich die Sichtbarkeit sehr dünner Membranen wird dadurch befördert. Dickere Theile verlieren aber dadurch viel von ihrer Durchsichtigkeit.

An Stelle der Chromsäure, die man nicht so leicht ganz rein bekommt, hat man auch doppeltchromsaures Kali benutzt. Es steht aber in der erhärtenden Wirkung nach, und die wässerige Lösung desselben muss weit stärker sein. H. Müller hat zum Härten der Netzhaut dieser Solution noch schwefelsaures Natron zugefügt; er nahm nämlich 2 bis $2^1/_2$ Theile doppeltchromsaures Kali und 1 Theil schwefelsaures Natron auf 100 Theile Wasser. Die nämliche Mischung lässt sich auch recht gut zur Erhärtung anderer zarter thierischer Gebilde verwenden.

Ferner kann stark verdünnte Schwefelsäure als Erhärtungsmittel dienen. Nach Max Schultze nimmt man 1 bis 10 Tropfen concentrirte Säure auf 1 Unze Wasser. Sie wirkt etwa wie Chromsäure, ohne jedoch die Gewebe zu färben und dadurch deren Durchscheinendheit zu vermindern.

In dieser Beziehung verdienen auch noch zwei andere Flüssigkeiten Erwähnung, die von Purkinje und später auch von Pappenheim (*Simon's Beiträge zur Phys. u. pathol. Chemie u. Mikroskopie*, 1843, S. 499) zur Erhärtung thierischer Substanzen empfohlen wurden, nämlich das kohlensaure Kali und der Holzessig. Beiden kommt die Eigenschaft zu, dass sie weiche thierische Gewebe knorpelartig hart machen, und sie wurden sich ganz gut zu diesem Zwecke benutzen lassen, wenn der Grund dieses Festwerdens nicht gerade in einer chemischen und physikalischen Veränderung gelegen wäre, welcher die Elementartheile bei Einwirkung dieser beiden Flüssigkeiten unterliegen.

Die mit diesen Substanzen angestellten Versuche haben mich belehrt, dass 1 Theil kohlensaures Kali auf 4 Theile Wasser zur Erhärtung der Gewebe im Allgemeinen ganz ausreichend ist, indem man ganz dünne Schnitte von den damit behandelten Theilen erhalten kann, dass aber diese Solution nicht mehr vortheilhaft ist, sobald nicht wenigstens das Verhältniss 1 : 8 eingehalten wird. Untersucht man die Einwirkung dieser ziemlich concentrirten Solution auf die Gewebe, so findet man, dass viele Elementartheile, namentlich Bindegewebe, Sehnen, Haut, Nervenröhren, Blutgefässwandungen u. s. w., wenig oder gar nicht dadurch angegriffen werden. Alle jene Theile dagegen, die grösstentheils aus Pro-

Digitized by Google

teïnverbindungen bestehen, die Primitivfasern der willkürlichen und unwillkürlichen Muskeln, der Inhalt fast aller Zellen u. s. w. erfährt dadurch eine starke Ausdehnung, so dass die faserigen Theile ganz verschwinden und die Zellmembranen durch die starke Ausdehnung verdünnt und schwer erkennbar werden. Die Erstarrung der Organe durch kohlensaures Kali rührt daher gerade von dem Aufschwellen der proteïnhaltigen Elementartheile her, und der Grad von Erhärtung, in welchen ein Organ versetzt wird, hält gleichen Schritt mit dem Proteïngehalte. Man begreift aber leicht, dass dies nicht in allen Fällen vortheilhaft sein wird. Wenn daher auch das kohlensaure Kali zwischendurch anwendbar ist, so kann es doch nicht ohne Unterschied als allgemeines Erhärtungsmittel empfohlen werden; denn um einzelne Elementartheile deutlich zu sehen, muss man immer auf die genaue Beobachtung anderer das Organ zusammensetzender Theile verzichten. Es wird übrigens kaum nöthig sein, die Fälle einzeln aufzuzählen, wo dieses Mittel wirklichen Nutzen bringen kann; die vorstehende kurze Skizze der Einwirkung auf die wichtigsten Elementarbestandtheile der weichen thierischen Gewebe enthält hierzu bereits die nöthige Anweisung. Ich füge nur noch hinzu, dass Schnitte aus Theilen, welche mit kohlensaurem Kali durchzogen waren, sorgfältig mit Wasser ausgespült und auch mit Wasser unter das Mikroskop gebracht werden müssen, weil das starke lichtbrechende Vermögen der Kalisolution die Elementartheile sonst zu durchsichtig macht, so dass sie nur schwer wahrzunehmen sind.

Die andere von Purkinje empfohlene Flüssigkeit, der Holzessig nämlich, scheint mir für die meisten Untersuchungen thierischer Gewebe ganz und gar nicht zu passen. Sie bekommen zwar damit die nöthige Härte und werden nach dem Trocknen selbst hornartig, was bei dem kohlensauren Kali nicht geschehen kann, weil dieses die Wasserdünste aus der Luft anzieht. Damit vergesellschaftet sich aber eine Umänderung fast aller Elementartheile, namentlich der leimgebenden Gewebe, des Bindegewebes, der Haut, der Sehnen, der Bänder. Auch verschwinden die Zellenwandungen grösstentheils gänzlich, und das stärkere Hervortreten der Kerne ist keineswegs ein Ersatz dafür. Die Erhärtung tritt hier also in gewisser Beziehung aus dem umgekehrten Grunde ein wie bei Einwirkung des kohlensauren Kali. Letzteres bewirkt ein Aufschwellen der proteïnhaltigen Bestandtheile; der Holzessig dagegen dehnt alle zu den leimgebenden Geweben gehörigen Theile stark aus, ohne die proteïnhaltigen ganz zu verschonen, und dadurch entstehen zu bedeutende Umänderungen, als dass über die normale Structur eines Organs noch ein Urtheil gefällt werden könnte.

In der Sitzung der französischen Akademie vom 12. December 1864 empfahl P. Roudanovsky, an hart gefrornen Nerven mit einem Doppelmesser Durchschnitte zu machen. Aus eigener Erfahrung kenne ich die-

Digitized by Google

ses Verfahren noch nicht. Sollte es, was ich jedoch kaum erwarte, erspriessliche Dienste leisten, so würde es auch bei anderen Geweben in Anwendung gebracht werden können.

Unter den Erhärtungsmitteln thierischer Gewebe ist auch die von Remak (*Untersuchungen über die Entwickelung der Wirbelthiere.* Berlin 1855, S. 127) benutzte Mischung zur Erhärtung der Froscheier zu nennen, nämlich 6 Theile schwefelsaures Kupferoxyd auf 100 Theile Wasser und gleichviel Alkohol von 20 bis 30 Proc., nebst ein Paar Tropfen Holzessig.

Für einzelne Fälle passt auch die Temperaturerhöhung bis zum Kochpunkte zur Erhärtung thierischer Gewebe, z. B. um die Zusammensetzung des Eidotters aus polyedrischen Zellen wahrzunehmen. So empfiehlt auch Rollett (*Sitzungsberichte der Kaiserl. Akad.* 1859) die Muskeln in Wasser zu kochen, oder noch besser in einem dichten Glasröhrchen bei 120 bis 140° C. zu erhitzen, wenn man ihre Fasern isoliren will. Dadurch wird das verbindende Zellgewebe in einen löslichen Zustand versetzt, und bringt man nun den Muskel in Wasser oder in Glycerin und zerzupft ihn darin, so trennen sich die Primitivfasern leicht.

Aus der vorstehenden Uebersicht der verschiedenen Hülfsmittel, mit- 60
telst deren man Durchschnitte von weichen Geweben bekommt, ersieht man, dass weder das Trocknen noch die Behandlung mit einer erhärtenden Flüssigkeit für alle Fälle passend erachtet werden kann, und dass jede Methode ihre besonderen Vortheile und Nachtheile hat. Man wird daher bei einzelnen Untersuchungen am besten verfahren, wenn man sich nicht auf eine einzige Methode beschränkt, sondern nach der Art des Objectes eine bestimmte Auswahl trifft, oder auch mehr als eine Methode in Anwendung bringt, und dann schliesslich die immer nur theilweise brauchbaren Resultate der verschiedenen Beobachtungen unter einander vergleicht, um zu einem durchgreifenden Schlusse zu gelangen.

Am besten wäre es aber, wenn man ein Mittel hätte, aus ganz frischen Geweben hinlänglich dünne Schnitte anzufertigen. Dazu sind nun die Doppelmesser von Gerber und Valentin bestimmt, welche weiter oben (S. 60) beschrieben wurden, zugleich mit den von mir daran angebrachten Veränderungen. Zuverlässig ist das Doppelmesser in manchen Fällen ein sehr brauchbares Instrument; nur darf man nicht glauben, dass es überall und immer anwendbar ist. Bei sehr weichen Theilen, z. B. bei Gehirn und Rückenmark, hat es mir nie gelingen wollen, damit Schnitte zu bekommen, die vollkommen durchsichtig gewesen wären, wenn nicht zugleich ein Druck angewendet wurde. Bei ziemlich festen, zumal faserigen Organen, wie etwa der Uterus, ist es aber ganz am Platze.

Die gehörige Benutzung des Doppelmessers erfordert besondere Rücksichten. Sind beide Klingen mittelst der Schraube in die Stellung

gebracht worden, welche man für die passende erachtet, so taucht man dieselben in Wasser, damit ihre Innenfläche ganz nass wird. Man fängt mit dem hintersten, der Hand zugekehrten Theile des Doppelmessers zu schneiden an, weil hier das Interstitium der beiden Klingen am kleinsten ist, und zieht das Messer mit einem Schnitte unter sanftem Drucke gegen sich; denn wollte man beim Schneiden hin- und herfahren, so würde der bereits zwischen beide Messer gefasste Theil dadurch zerrissen werden. Durch Lockern der Schraube entfernt man hierauf die beiden Klingen von einander und den an der einen Klinge haftenden Schnitt spült man mit etwas Wasser ab.

Die auf S. 61 beschriebene Doppellancette ist gut zu gebrauchen, wenn nahe der Oberfläche eines Organes, wo das Doppelmesser nicht gehörigen Widerstand finden würde, Durchschnitte genommen werden sollen. Dieselbe kann aber auch in den meisten anderen Fällen benutzt werden, und sie ist im Besonderen zu gebrauchen, wenn die Theile locker unter einander zusammenhängen, so dass sie durch die schneidende Bewegung des Messers leicht aus ihrer Stelle verrückt werden. Denn mit der Doppellancette werden die Durchschnitte ausgestochen und nicht ausgeschnitten.

Der eben daselbst erwähnte Doppelmeisel wird besonders dazu dienen, Durchschnitte aus härteren Gebilden zu gewinnen, aus Knorpel, aus den meisten Pflanzenorganen u. s. w. Bei seiner Anwendung kommt das zu durchschneidende Object auf eine Korkplatte zu liegen und der Doppelmeisel wird dann unter einer schaukelnden Bewegung hineingedrückt.

Was soeben vom Doppelmesser angegeben wurde, das gilt auch von der Doppellancette und dem Doppelmeisel; ihre Blätter müssen nämlich, bevor sie in Gebrauch kommen, mit Wasser benetzt werden.

Um von sehr harten Geweben, wie Knochen, Zähne u. s. w., Durchschnitte zu bekommen, wird auch eine Doppelsäge Anwendung finden können. Ich selbst kann aus eigener Erfahrung nichts darüber sagen; aber nach einer mündlichen Mittheilung von Bruch, der ein solches Instrument besitzt, entspricht dasselbe seinem Zwecke recht gut.

61 Es versteht sich von selbst, dass diese verschiedenen Instrumente nur dann Anwendung finden können, wenn das Organ eine gewisse Dicke besitzt, so dass es bei der Trennung hinreichenden Widerstand leistet. Soll dagegen ein oberflächlicher Schnitt genommen werden, was manchmal gerade recht wichtig ist, weil man alsdann deutlich die Stelle übersieht, von welcher der Schnitt herkommt, so sind diese Instrumente ganz unbrauchbar.

Ist ein gewöhnliches Scalpell oder ein Rasirmesser wegen der Weichheit des Gewebes in einem solchen Falle nicht zu benutzen, so kann man

Digitized by Google

ganz gut eine Lancette nehmen, oder noch besser das unter Fig. 5 (S. 59) abgebildete Instrument. Die Spitze desselben wird vorher mit Wasser befeuchtet, flach unter die Oberfläche eingestochen und parallel derselben fortgeschoben; löst sich dann der abgetrennte Lappen nicht von selbst, so hilft man mit einer Scheere nach. Die Fälle, wo dieses Verfahren mit Vortheil in Anwendung gebracht werden kann, kommen in der feinen Anatomie der thierischen Organe sehr häufig vor, und mir scheint ein solches Messerchen für derartige Untersuchungen weit weniger entbehrt werden zu können als das Doppelmesser, dessen Benutzung sich immer nur auf einige wenige Fälle beschränken wird.

Unter den zur Anfertigung von Durchschnitten benutzten Instrumenten nenne ich hier der Vollständigkeit halber noch den Hobel, der von Pappenheim (*Simon's Beiträge* u. s. w. 1843, S. 498) empfohlen worden ist. Natürlich eignen sich dafür nur solche Theile, die an und für sich hornartig oder künstlich erhärtet sind. Der Hobel gewährt den Vortheil, dass man sehr grosse Schnitte damit erhalten kann und dass sich eine Reihe auf einander folgender Schnitte in kurzer Zeit damit herstellen lässt. Die Fälle indessen, wo er vor anderen Instrumenten den Vorzug verdienen könnte, werden nicht gerade häufig vorkommen, zumal da, wie Pappenheim selbst zugesteht, die damit gewonnenen Schnitte sich nicht wohl eignen, die feinsten Details wahrzunehmen, was doch bei den meisten mikroskopischen Untersuchungen als die Hauptsache zu betrachten ist. 62

Gleichwie bei vielen weichen Gegenständen wegen des geringen Widerstandes, den sie dem Messer bieten, Vorkehrungen und Hülfsmittel nöthig sind, um Durchschnitte zu bekommen, so giebt es wieder andere, wie Knochen, Zähne, Korallen, Muschelschalen, Fossilien u. s. w., die wegen ihrer Härte und der damit verbundenen Zerbrechlichkeit sich nur schwer in feinen Schnitten darstellen lassen. Bei diesen muss man wieder zu anderen Hülfsmitteln greifen, und diese sind doppelter Art. 63

Enthält das Gewebe eine hinreichende Menge organischer Substanz, die nach dem Ausziehen der anorganischen Bestandtheile noch im Zusammenhange verbleibt, z. B. Zähne und Knochen, weniger dagegen Korallen und Muscheln, so kann man die Körper durch Salpetersäure oder Salzsäure von den anorganischen Bestandtheilen befreien; nur darf man nicht zu concentrirte Säuren nehmen, weil durch eine zu rasche und kräftige Einwirkung der Zusammenhang der Theile leicht gelöst wird. Hat die dabei stattfindende Gasentwickelung nach einigen Stunden aufgehört, dann wird die Säure abgegossen und durch Wasser ersetzt, was man ein Paar Mal wiederholt. Es ist dies deshalb nöthig, weil der salpetersaure Kalk oder das Chlorcalcium als zerfliessende Salze das Trock-

Digitized by Google

nen an der Luft unmöglich machen würden. Ist der Körper durch wiederholtes Auswaschen mit Wasser davon befreit, dann kann er auf gewöhnliche Weise getrocknet werden und man kann mittelst eines Rasirmessers oder Scalpells Schnitte davon bekommen.

Nach einer anderen Methode sucht man durch Schleifen hinreichend dünne und durchsichtige kleine Plättchen herzustellen. Zu dem Ende schafft man sich erst mittelst einer Feile eine ebene Fläche an dem Körper und alsdann sägt man mit einer feinen Säge eine Lamelle von einer gewissen Dicke ab. Je dünner die Lamelle ist, um so weniger Zeit hat man nachher auf das Schleifen zu verwenden; doch kommt es dabei darauf an, aus welcher Substanz der Körper besteht. Von Knochen und Zahnwurzeln lassen sich Lamellen sägen, die nur wenig dicker als Schreibpapier sind, von Zahnkronen, Korallen, Muschelschalen u. s. w. muss man dagegen viel dickere Lamellen absägen, wenn sie nicht dabei zerbrechen sollen.

Das Schleifen nimmt man auf einem feinkörnigen Schleifsteine vor, oder noch besser auf einem ebenen Spiegelglase mit angewässertem Tripel, indem man mit einer gröberen Sorte anfängt, und erst die eine, dann die andere Fläche vornimmt, bis die Lamelle dünn genug geworden ist. Ist die Glasplatte abgespült worden, so nimmt man dann eine feinere durch Schlämmen gewonnene Tripelsorte, und sorgt immer für hinreichendes Wasser auf der Glasoberfläche. Zuletzt schleift man die dünne Lamelle noch einige Zeit blos auf der jetzt matt gewordenen Glastafel, ohne Tripel, damit die kleinen durch den Tripel bewirkten Schrammen und Furchen verschwinden.

Meistentheils, namentlich bei Zahn- und Knochenschliffen, geräth es am besten, wenn man aus freier Hand schleift, die Lamelle also nicht besonders befestigt, sondern einfach mit der Spitze des Zeigefingers über die Schleiffläche hinführt. Bei solchem Verfahren kann man während des Schleifens über die Dicke der Lamelle urtheilen, und man kann letztere von Zeit zu Zeit unter das Mikroskop bringen, um zu sehen, ob man den nöthigen Grad von Durchsichtigkeit bereits erlangt hat, oder ob man noch weiter schleifen muss. Auch hat man es dann in der Gewalt, wenn die Lamelle an einer Stelle dicker ist, durch stärkeren Druck an dieser Stelle nachzuhelfen. Zum Schutze des Fingers kann man ein Leinwandläppchen darum legen, oder noch besser einen alten weichledernen Handschuh anziehen. Ist jedoch die Lamelle gar zu klein oder ist die Substanz derselben gar zu zerbrechlich, z. B. die Schalen von Weichthieren, dann muss man dieselbe mittelst Siegellack auf einen Griff von passender Form aufkleben. Nach dem Schleifen wird dann die Lamelle mittelst Alkohol von dem Siegellacke gelöst.

Eine recht geeignete Unterlage zur Befestigung einer solchen dünnen Lamelle ist auch ein gewöhnliches Glasplättchen: es ist an und für

sich ganz eben, und bei seiner Durchsichtigkeit kann man sich davon überzeugen, wo noch geschliffen werden muss. Zum Aufkleben der Lamelle nimmt man alten Canadabalsam, der in gewöhnlicher Lufttemperatur ganz hart ist; in dessen Ermangelung aber kann man auch einen mehr flüssigen Balsam erwärmen, bis er beim Erkalten die gewünschte Härte bekommt. Beim Auftragen auf das Glastäfelchen muss er dickflüssig wie Syrup sein, namentlich bei Knochen- und Zahnschliffen, weil er sonst die Knochen- und Zahnkanälchen erfüllt und weniger sichtbar macht. Das Glastäfelchen wird vorher erwärmt, am besten auf einem kleinen Eisenbleche, das auf vier Füsschen ruht, und zwar mittelst einer Alkohol- oder Gasflamme, die aber keine zu grosse Wärme zuführen dürfen. Auf das so erwärmte Glastäfelchen kommt ein Tröpfchen des vorher ebenfalls erwärmten und flüssig gemachten Canadabalsams, und es wird die Lamelle aufgelegt und angedrückt, so dass nur eine ganz dünne, überall gleich dicke Lage Balsam zwischen ihr und dem Glase verbleibt. Dieses Andrücken kann im Allgemeinen mittelst eines zwischen die Finger gefassten Gegenstandes ausgeführt werden. Man kann aber auch den einen oder den anderen kleinen Druckapparat dazu nehmen, eine Schieberpincette, eine Klemmschraube, eine durch eine Feder nach Art eines Quetschhahnes schliessende Klammer; oder man kann auch einfach kleine Bleicylinder nehmen, die mitten aufgesetzt werden. Denn der Druck, in welcher Art er auch ausgeübt wird, muss gleichmässig und in senkrechter Richtung wirken. Nach erfolgter Abkühlung entfernt man den überflüssigen Balsam, der am Rande hervorgetreten ist, mit einem Messerchen. Ist dann die aufgeklebte Lamelle auf der einen Seite eben geschliffen und geglättet, indem man sie eine Zeit lang ohne Tripel blos mit Wasser auf der Spiegelglasplatte reibt, so lässt man sie trocken werden, und weiterhin wird das als Unterlage benutzte Glastäfelchen erwärmt, damit die Lamelle sich ablöst. Sollte dies aber bei sehr zerbrechlichen Objecten Schwierigkeiten bieten, so legt man das Glastäfelchen in Alkohol, den man etwas erwärmt. Jetzt wird nun die bereits geglättete Fläche der Lamelle mit Canadabalsam ebenfalls auf ein Glastäfelchen befestigt, und zwar kann hierzu ein solches gewählt werden, worauf die Lamelle als Präparat verbleiben soll. Bei dieser Befestigung mit Canadabalsam ist insbesondere darauf zu achten, dass keine Luftbläschen darin bleiben. Das Schleifen und Glätten der jetzt nach aussen gekehrten Fläche wird ganz so, wie das erste Mal, vorgenommen. Bei gleichmässigem Drucke des Fingers, der das Glasplättchen über die Schliffläche wegführt, bekommt man auf diese Weise sehr dünne, und erforderlichen Falls auch ziemlich grosse Lamellen.

Der Canadabalsam und dem ähnliche Substanzen, wie etwa Mastix oder Dammarfirniss mit venetianischem Terpentine gemengt, können auch noch für eine andere Reihe von Fällen in Anwendung kommen, um näm-

lich Theilen, die auseinanderzufallen drohen, wenn man Durchschnitte davon machen will, einen festeren Znsammenhang zn verschaffen. Das kommt besonders bei fossilen Körpern vor, hei Knochen nnd Zähnen, die ihren organischen Bindestoff verloren haben, bei Gesteinen mit Foraminiferen, mit Bryozoen u. s. w. Solche Körper legt man eine Zeit lang iu recht flüssigen Canadabalsam oder in einen dicklichen Firniss; die Dauer des Liegenlassens kann man durch Erwärmen ahkürzen. Scheint die Flüssigkeit tief genug eingedrungen zu sein, so wird der Körper an einen erwärmten Platz gehracht, damit alles ätherische Oel verdampft. Dann lassen sich auf die oben angegehene Weise Durchschnitte davon machen, denen man nöthigenfalls weiterhin durch Alkohol die bindende Substanz wieder entzieht.

Von fossilen Körpern, deren incrustirende Masse hauptsächlich aus kohlensaurem Kalke hesteht, kann man ohne sonderliche Mühe durch Schleifen dünne Lamellen bekommen. Ist hingegen das incrustirende Element Kieselsäure, dann verlangt die Darstellnng durchsichtiger Lamellen so viel Zeit und Mühe, dass man hesser thnt, die Arbeit einem Diamantschleifer zn übertragen, wenn ein solcher zu haben ist. Nach Mohl's (*Mikrographie* S. 259) Empfehlnng soll man iu einem solchen Falle eine dünne Messingscheibe auf eine Drehbank befestigen, dadurch mit Hülfe von Tripel eine dünne Lamelle des Körpers abschneiden, die man dann auf eine Glasscheibe befestigt, mit feinem Tripel schleift und endlich polirt. Ich selbst hahe darüher keine Erfahrung.

64 Ein Hauptpunkt, worauf es bei jeder anatomischen Untersuchung mehr oder weniger ankommt, ist der, dass die zu untersuchenden Körper von den henachharten nnd umgehenden gehörig isolirt werden; daranf beruht eigentlich die ganze praktische Anatomie. Es ist natürlicher Weise nicht möglich, hierüher allgemeine Vorschriften zu gehen, denn je nach der Beschaffenheit des zu untersuchenden Körpers müssen verschiedenartige Methoden eingeschlagen werden, die man grösstentheils auch nnr durch eigene Uehung kennen lernt. Wenn daher auch die feinere Anatomie der kleineren Thiere, der Insecten, der Weichthiere, der Entozoen, der Infusorien u. s. w., ganz der mikroskopischen Untersuchung anheimfällt, so gestattet doch der mehr allgemeine Charakter dieses Werkes nicht, hier in Besonderheiten einzngehen üher die verschiedenen Methoden, wodnrch die Organe zum Behufe der Untersuchung gehörig hlossgelegt werden können. Ich verweise auf das, was oben (S. 75) über die Art und Weise der Befestigung solcher Körper gesagt worden ist, um beide Hände für Messer, Nadeln, Scheeren u. s. w. frei zu haben, nnd füge nnr noch hinzu, dass in einem solchen Falle immer unter Wasser zergliedert werden muss, weil die Theile sich darin bequemer aushreiten lassen, auch dass man je nach den Umständen das hlosse Auge, die Lupe,

das einfache oder das bildumkehrende Mikroskop benutzen kann. Will man einen abgetrennten Theil, um ihn unter stärkerer Vergrösserung zu sehen, unter das zusammengesetzte Mikroskop bringen, so legt oder hält man ein Objecttäfelchen unter die Oberfläche des Wassers, schiebt das Object darauf und bringt es nun leicht in die Lage, welche sich zur mikroskopischen Untersuchung am besten eignet. In dieser Lage verbleibt dasselbe, wenn das Objecttäfelchen mit dem aufliegenden Objecte aus dem Wasser genommen und das überflüssige Wasser entfernt wird. In gleicher Weise müssen dünne thierische Häute, Durchschnitte zarter Gewebe u. s. w., auf die Objecttäfelchen gebracht werden; denn ohne dieses Hülfsmittel gelingt es selten, dieselben ohne Quetschung gehörig auszubreiten.

Bei vielen mikroskopischen Untersuchungen, namentlich thierischer 65
Gewebe, hat man einen doppelten Zweck: man will das Gewebe im Ganzen übersehen und den Zusammenhang der dasselbe zusammensetzenden Elementartheile kennen lernen, sodann aber will man die Bildung dieser Elementartheile selbst erforschen. Der erstgenannte Zweck ist selbst wieder auf zweierlei Art erreichbar: ist die Durchsichtigkeit, wie bei häutigen Gebilden, gross genug, dann bringt man einen kleinen Theil davon unmittelbar unter das Mikroskop; ist dieses aber nicht der Fall, so bereitet man dünne Schnitte des Körpers. Mittelst dieser allgemeinen Untersuchung indessen kommt man in der Regel noch nicht dazu, die zusammensetzenden Elementartheile gut wahrzunehmen, da diese zu gedrängt auf einander liegen, um sie deutlich genug zu unterscheiden. An Quer- und Längsschnitten von Muskeln, von Nerven u. s. w. wird man z. B. recht gut erkennen können, wie die Primitivbündel und die Primitivröhren verlaufen, wie das Bindegewebe die Bündel umgiebt, oder wie die Blutgefässe, wenn diese injicirt sind, sich zwischen den Theilen verbreiten. Um aber den Bau der Primitivbündel und der Primitivröhren selbst zu erkennen, muss man sie nothwendig getrennt und für sich allein daliegend haben, und das Gewebe muss deshalb aus einander gezerrt werden. Man bringt zu diesem Ende ein kleines Stückchen davon auf ein Objecttäfelchen, befeuchtet es mit Wasser und zerrt es mit ein Paar Nadeln aus einander, was mit blossem Auge oder nöthigenfalls auch unter der Lupe geschieht, wenn z. B. die Malpighischen Körperchen der Nieren oder die Ganglienzellen der Nerven u. s. w. isolirt werden sollen.

Um die zusammensetzenden Elemente der Pflanzengewebe kennen zu 66
lernen, kann das Isoliren der Theile auch wohl erspriesslich sein. In den meisten Fällen indessen ist der Zusammenhang zu fest, als dass man sie gleich den thierischen Theilen mit ein Paar Nadeln aus einander zerren könnte. Manchmal kommt die Natur dabei zu Hülfe, indem die äusser-

sten Schichten, wodurch die Zellenwände unter einander zusammenhängen, verschwinden. Das beobachten wir beim Reifwerden vieler Früchte, bei denen diese Lage aus Pectose besteht; sie wird allmälig in eine der löslichen Substanzen umgewandelt, welche zu dieser Reihe gehören. Auch bei beginnender Verwesung, namentlich bei der trockenen Verwesung, hat man häufig Gelegenheit, die Elementartheile isolirt und sonst fast ganz unverändert zu beobachten. Meistens jedoch muss man zu künstlichen Hülfsmitteln greifen, die sich wieder nach der besonderen Art des Gewebes zu richten haben.

Das einfachste Mittel ist das Kochen mit Wasser, und dieses ist auch ausreichend bei vielen Parenchymgeweben, die aus grossen dünnwandigen Zellen bestehen. Die Lockerung der Zellen wird noch befördert, wenn man dem Wasser eine vegetabilische Säure oder ein ätzendes Laugensalz zusetzt. Es lässt sich übrigens nicht für alle Fälle bestimmen, wie viel Kali oder Natron dazu erforderlich ist; je weiter die Verholzung der Zellenwand fortgeschritten ist, um so gesättigter müssen die Auflösungen sein. Die Cellulose wird durch diese Behandlung mit Alkalien nicht angegriffen und lässt sich auch weiterhin noch durch Zusatz von Jodtinctur kenntlich machen, die Pectose und die Cutose dagegen verschwinden.

Bei verholzten Geweben kommt man am schnellsten zum Ziel, wenn man sie mit Salpetersäure kocht; man nimmt entweder blos Salpetersäure (Brogniart), oder setzt etwas chlorsaures Kali zu (Schultz). Dünne Schnitte werden dadurch schon innerhalb weniger Secunden so aufgelockert, dass sie bei der geringsten Berührung zerfallen. Wenn daher die Flüssigkeit in einem kleinen Kolben soeben gekocht hat, giesst man sie mit sammt den darin enthaltenen Durchschnitten in eine reichliche Quantität Wasser aus, und nun fischt man die Schnitte mit einem untergeschobenen Glasplättchen auf, um sie mit ein Paar Nadeln aus einander zu zerren. Bei dieser Behandlung findet offenbar in den oberflächlichsten Schichten eine Oxydation der Cutose statt, wodurch die verholzten Zellen mit einander in Verbindung stehen. Man bemerkt ein schwaches Aufbrausen in dem Gewebe, und sobald dieses eintritt, muss man mit der Säureeinwirkung aussetzen. Trifft man hierbei den rechten Moment, so ist das Gefüge der Zellenwände wenig oder gar nicht verändert worden, die Cellulose aber hat eine chemische Umwandlung in Pyroxyline erfahren. Auch sind die Zellenwände dadurch weit weniger lichtbrechend geworden.

Es versteht sich wohl von selbst, dass die Beobachtung solcher durch chemische Hülfsmittel isolirten Zellen mit der Betrachtung der blos mit Wasser befeuchteten Gewebe immer gepaart gehen muss, weil man sonst leicht Gefahr läuft, Kunstproducte als wirklich vorhandene Bestandtheile der Objecte anzusehen.

Digitized by Google

Wenn auch das Wasser unter den verschiedenen Flüssigkeiten die 67
allgemeinste Anwendung findet, so darf man doch nicht vergessen, dass dasselbe keineswegs ausschliesslich und in allen Fällen den Vorzug verdient. Weiter oben (S. 35) habe ich schon angegeben, dass das Gefüge vieler Körper sich nur dann erkennen lässt, wenn sie in stärker brechende Medien kommen. Ganz besonders kommt aber hier der Einfluss in Betracht, welchen das Wasser vermöge der Endosmose auf die Form mancher zarten, häutig begrenzten organischen Körper ausübt, und ich erinnere deshalb an die weiter oben aufgestellte Regel, dass die organischen Körper so viel möglich in jenem Zustande unter das Mikroskop gebracht werden müssen, worin sie sich während des Lebens befanden. Da nun jene Flüssigkeiten, welche die Theile umspülen oder in den Theilen enthalten sind, stets wässerige Solutionen von Eiweiss, Zucker, Gummi u. s. w. darstellen, niemals aber reines Wasser sind, so werden auch derartige Solutionen oftmals den Vorzug vor reinem Wasser verdienen. Aus Erfahrung kennt man schon mit ziemlicher Sicherheit die meisten Fälle, wo jene Einwirkung des Wassers auf die Elementartheile zu fürchten ist und wo andererseits auch nicht die geringste Veränderung durch dieselben hervorgerufen wird. Bei fast allen Untersuchungen von Pflanzengeweben kann man unbedenklich reines Wasser verwenden; nur bei sehr jungen, in den ersten Entwickelungsstadien befindlichen Theilen ist es rathsamer, eine sehr verdünnte Zucker- oder Gummisolution (1 auf 50 Theile Wasser) zu benutzen. Unter den thierischen Theilen übt das Wasser zunächst keinen merklichen Einfluss auf alle echten Fasergewebe, also auf das Muskel-, Sehnen-, Band-, Bindegewebe u. s. w.; auch wirkt es nicht auf die platten bandförmigen Fasern der Krystalllinse, nicht auf die Knorpelzellen, wenngleich die Intercellularsubstanz des Knorpels das Wasser reichlich aufsaugt, und dadurch ausgedehnt wird, wie man recht auffallend an Durchschnitten der knorpeligen Luftröhrenringe sehen kann. Dass die härteren thierischen Gewebe, wie Knochen, Zähne, Schuppen, Haare, Federn u. s. w., durch Zusatz von Wasser keinerlei Veränderung erleiden, braucht wohl kaum besonders bemerkt zu werden.

Zu den Elementartheilen, worauf Wasser einen schädlichen, die Form mehr oder weniger zerstörenden Einfluss ausübt, können im Allgemeinen alle jene gezählt werden, welche aus einem sehr zarten Umhüllungshäutchen und einem eingeschlossenen Inhalte bestehen, welcher letztere vielleicht organische Substanzen in ziemlich concentrirtem Zustande führt; im Allgemeinen also alle jüngeren dünnwandigen Zellen und Röhren. Man muss aber dabei noch einen Unterschied machen. Das Wasser übt nur einen geringen Einfluss auf alle Epithelialzellen, auf die Pigmentzellen, die Leberzellen, die Capillaren, falls diese nicht zu den allerfeinsten gehören. Eingreifender wirkt es auf die Nervenprimitiv-

röhren, namentlich auf jene des Rückenmarkes und Gehirnes. Die Blutkörperchen endlich und die Elemente der Netzhaut bekommen fast unmittelbar nach der Befeuchtung mit Wasser eine von der früheren ganz abweichende Gestalt; die ersteren darf man deshalb nur in Blutserum untersuchen, und die letzteren muss man mit der Glasflüssigkeit des nämlichen Auges befeuchten, wenn sie keine Veränderungen erleiden sollen. Auch der *Liquor Amnii*, den man leicht in Menge von Rindern oder Schafen bekommen kann, ist für derartige Fälle anwendbar. Solche eiweissartige Flüssigkeiten lassen sich nach Landolt längere Zeit vor Verderben schützen, wenn man ein Paar Stückchen Campher darauf bringt. Nach Max Schultze (*Virchow's Archiv* 1864. XXX, S. 263) soll es auch gut sein, wenn man solchen eiweissartigen Flüssigkeiten einige Tropfen Jodtinctur oder Jodkaliumsolution mit Jod versetzt zufügt.

Bedarf es einer Flüssigkeit, die durch stärkeres Brechungsvermögen die Gewebe durchscheinend macht, so kann man vor Allem aus zu *Glycerin* greifen. Im concentrirten Zustande bewirkt dasselbe aber ein schwaches Zusammenschrumpfen der Theile, weil es ihnen Wasser entzieht. Da es sich aber in allen Verhältnissen mit Wasser mischt, so kann man leicht eine für den gegebenen Fall passende Mischung herausfinden.

68 Hat man langdauernde Untersuchungen vor sich, wie etwa die Entwickelung niedriger Pflanzen und Thiere, so tritt allmälig eine Verdunstung der zum Benetzen dienenden Flüssigkeit ein. Man kann dieselbe zwar fortwährend wieder erneuern, allein bei jedem Zusatze eines neuen Tropfens entsteht eine Strömung in der Flüssigkeit, und das Object, dessen Entwickelung oder dessen Veränderungen erforscht werden sollen, verliert sich aus dem Gesichtsfelde. Wird es nun wieder aufgesucht, so hat es vielleicht eine andere Stellung angenommen und die auf einander folgenden Beobachtungen sind nicht vollkommen vergleichbar unter einander. Bereits seit einer Reihe von Jahren benutze ich deshalb eine Einrichtung (Fig. 30), die zunächst für Mikroskope mit aufwärts gerichteten Objectiven bestimmt ist, von denen im dritten Bande umständlicher die Rede sein wird. Auf den Objecttisch des Mikroskopes kommt ein Stück Spiegelglas *AB*, und darauf das Object für sich oder auf einem besonderen Objecttäfelchen. Das Object ist durch einen Ring *C* aus Messingblech verdeckt, woran sich nach unten ein etwas vorspringender abgeplatteter Rand befindet; oben aber ist dieser Ring, der 5 bis 7 Centimeter im Durchmesser haben kann, durch eine Glasscheibe *D* hermetisch geschlossen. Zur Sicherung des Schlusses wird der Rand des Rin-

Fig. 30.

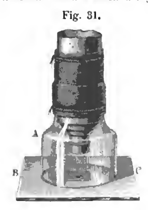


Harting's feuchte Kammer.

ges, bevor man ihn auf die Glasplatte aufsetzt, mit einem Gemenge aus Oel nnd Wachs bestrichen, und damit sich die Luft bald mit Wasserdunst sättigt, wird die Glastafel nnd die Innenseite des Ringes mit Wasser befeuchtet. Anf die Innenfläche der Glasplatte *D* streicht man mittelst eines Pinsels eine dünne Oelschicht, um das Beschlagen durch Wasserdunst zu verhüten. Mittelst dieser kleinen Vorrichtung läßt sich ein davon umschlossenes Object, ohne dass die Flüssigkeit verdunstet, Tage lang beobachten.

Ist der Ring *C* nicht zu hoch, misst er vielmehr nur 3 bis 4 Millimeter, so kann bei geringeren Vergrösserungen auch ein gewöhnliches Mikroskop dazu benutzt werden. Noch zweckmässiger ist aber alsdann eine ähnliche Vorrichtung, die durch von Recklinghausen (Virchow's *Archiv*, 1863. XXVIII, S. 162) erfunden und von Max Schultze (*Archiv f. mikroskop. Anat.* I, S. 4) ebenfalls empfohlen worden ist. In Fig. 31 ist diese mit dem Namen der *feuchten Kammer* belegte Vorrichtung abgebildet, die sich ein jeder selbst anfertigen kann. Man sucht sich einen Cylinder für eine gewöhnliche Argand'sche oder Moderateurlampe aus, dessen engerer Theil gerade so weit ist, dass das Mikroskoprohr hinein passt, und diesen schneidet man ringförmig ab, 1 bis 2 Centimeter oberhalb des weiteren Theils. Der untere Rand dieses weiteren Theils *A* wird mit Tripel und Wasser auf einem platten Spiegelglase ebengeschliffen und kommt auf die Glasplatte *B C*, worauf das Object unter einem Deckplättchen liegt, das nicht zu gross sein darf, damit nicht der nöthige Spielranm zum Verschieben der Glasplatte fehlt. Um die Luft in der Kammer mit Wasserdnnst zu sättigen, klebt man ein Stückchen mit Wasser getränktes Fliesspapier an die Innenwand. Soll der Raum behufs einer länger dauernden Beobachtung ganz abgeschlossen werden, so kann man eine dünne Kautschuklamelle in der Weise, wie es die Figur zeigt, mittelst Faden um das Mikroskoprohr und den engeren Theil der Kammer befestigen. Ist das zu beobachtende Object eiumal im Gesichtsfelde und soll es daselbst bleiben, so braucht man nur den Rand der auf der Glasplatte ruhenden Kammer mit einem Pinsel zu umfahren, der in eine erwärmte Mischung von Oel und Wachs getaucht ist, und man erlangt damit einen vollständigen Abschlnss. Vom Beschlagen der Unterfläche des Objectives hat man nicht viel zu besorgen. Man kann es aber auch

Fig. 31.



v. Recklinghausen's feuchte Kammer.

Digitized by Google

ganz verhüten, wenn man mit der genannten Objectivfläche über die Handfläche streicht, wobei sich eine ganz dünne Fettschicht auflagert, die der Beobachtung keinen Eintrag thut und doch das Anhaften von Wasserdunst verhindert.

69 Nicht gar selten kommt es vor, dass Präparate pflanzlicher oder thierischer Gewebe mit Substanzen erfüllt sind, durch deren Menge die Untersuchung des eigentlichen Gewebes sehr erschwert wird, und die deshalb vor Allem weggeschafft werden müssen. Die wichtigsten derartigen Körper sind Luft, Amylum, Milchsaft, Fett und Krystalle verschiedener Salze.

Die Luft, welche die meisten Intercellularräume und die Gefässe anfüllt, hat ein ganz anderes Brechungsvermögen als die umgebende Flüssigkeit, und deshalb bildet sie schwarze Streifen oder grössere schwarze Massen von verschiedenartiger Form und Ausbreitung. Um das erste Entstehen solcher Intercellularräume und Gefässe zu erkennen, kann das Vorkommen von Luft in denselben recht gut benutzt werden; später jedoch, wenn jene Räume und Gefässe sich bereits gehörig entwickelt haben, wird eine genaue Beobachtung erst dann möglich, wenn die Luft auf andere Weise daraus entfernt worden ist. Das einfachste und niemals versagende Mittel besteht darin, dass man die gemachten Durchschnitte ein Paar Stunden in ausgekochtem Wasser liegen lässt. Verlangt man jedoch eine schnellere Entfernung der Luft, dann kann man sich auch auf andere Weise helfen. Wenn die Natur des Gewebes solches gestattet, so genügt es oftmals schon, wenn man mit dem platten und schmalen Scalpellstiele auf das mit Wasser befeuchtete Präparat klopft. Auch das Eintauchen des Durchschnittes in starken Alkohol ist gut. Nur passt dieses Mittel nicht bei jüngeren Geweben, weil das Eiweiss dadurch coagulirt und die Undurchsichtigkeit zunimmt.

Wenn die Zellen zahlreiche Amylumkörner oder Krystalle enthalten, die beim theilweisen Durchschneiden der Zellenwände sich in der umgebenden Flüssigkeit ausbreiten und dadurch die Deutlichkeit der Beobachtung stören, so sucht man dieselben zu entfernen, indem man das Präparat in Wasser abspült; oder ist es dafür zu dünn, so bringt man es auf ein Objecttäfelchen und hält dieses schief, während man tropfenweise Wasser darüberlaufen lässt. Manchmal kann es auch gut sein, wenn man mit verdünnten Mineralsäuren benetzt, oder mit einer Solution von Aetzkali oder Natron. Durch diese Mittel schwellen die Amylumkörner so stark auf und sie werden dabei so durchsichtig, dass sie sich der Sichtbarkeit entziehen. Nur darf man nicht vergessen, dass dadurch Veränderungen in den Zellenwandungen selbst entstehen können.

Digitized by Google

Hat man mineralische Substanzen, Gesteine, Felsarten u. s. w., zu 70
untersuchen, worin Ueberbleibsel kleiner Organismen vorkommen, wie Entomostraceen, Foraminiferen, Diatomeen u. s. w., so ist es meistens nöthig, dass dieselben erst gepulvert werden. Wird dieses Pulverisiren durch Stossen in einem Mörser, oder durch Abkratzen mit einem Messer, oder auf andere mechanische Weise bewirkt, so läuft man Gefahr, die zarten Kalk- oder Kieselschalen auch mit zu zerbrechen. Dies verhütet man durch folgendes Verfahren, welches ich Herrn A. G. W. van Riemsdyk verdanke und dessen ich mich schon einige Male mit gutem Erfolge bedient habe. Hat man in einer Quantität kochenden Wassers so viel schwefelsaures Natron aufgelöst, als das Wasser aufzunehmen vermag, so wirft man dann die Steinstückchen hinein, die man in Pulverform bringen will und lässt die Solution sich ruhig und langsam abkühlen. Besitzt das Gestein hinreichende Porosität, dass Flüssigkeit eindringen kann, so wird durch das spätere Krystallisiren des Salzes der Zusammenhang gelöst und der Stein zerfällt theilweise oder auch ganz in Pulver. Dieses Pulver besteht nun noch aus gröberen und feineren Theilen und lässt sich weiterhin durch Schlämmen mit Wasser noch in verschieden feine Theile trennen, worin die organischen Reste nach Maassgabe ihres verschiedenen specifischen Gewichtes sich sammeln und leicht wieder erkennen lassen. Zur mikroskopischen Untersuchung wird etwas von dem noch feuchten Pulver mittelst eines Pinsels auf ein Objecttäfelchen ausgebreitet; ist es getrocknet, so bringt man Canadabalsam darauf und dann hält man das Täfelchen noch einige Augenblicke über eine Alkoholflamme, damit sich der Balsam gehörig ausbreitet.

Soll das noch übrige Pulver aufbewahrt werden, so ist es rathsam, um das Zusammenbacken und zugleich auch das Entstehen von Schimmel zu verhüten, wenn etwas Weingeist auf die noch feuchte Masse gegossen wird, die man dann in einem gut schliessenden Fläschchen aufhebt.

Ist ein Körper soweit zubereitet, dass er zur mikroskopischen Beob- 71
achtung sich eignet, dann muss ein Deckplättchen (§. 49 und 50) darauf kommen, und zwar aus zweierlei Gründen: einmal nämlich, damit nicht die Flüssigkeit verdunstet und das Objectiv dadurch beschlägt, zweitens aber auch, damit die Oberfläche des Objectes eine ebene Fläche bildet.

In der Wahl des Deckplättchens wird man bestimmt: a. durch den Abstand des Objectives vom Objecte, da bei den stärksten Objectiven natürlich nur sehr dünne Deckplättchen verwendbar sind; b. durch den Einfluss, welchen die Dicke des Deckplättchens auf den Gang der Strahlen und auf den Correctionszustand der Aberrationen ausübt (I, §. 160); c. durch den Widerstand, welchen das Object dem anzubringenden Drucke entgegenstellt. Manche Körper nämlich können nur einen ganz schwa-

chen Druck vertragen und dürfen deshalb nur mit den dünnsten Glimmerblättchen oder mit Glashaut bedeckt werden; andere Körper hingegen erleiden dadurch keinen Schaden, verlangen vielmehr einen gewissen Druck, damit ihre zusammensetzenden Theile gehörig sichtbar werden.

Ist die einfache Bedeckung mit einem ziemlich dicken Deckplättchen nicht ausreichend, so muss der Druck durch mechanische Mittel vermehrt werden, und das kann durch ein Druckwerkzeug oder Compressorium geschehen, wovon es verschiedene Arten giebt, deren Beschreibung aber auf den dritten Band verspart wird. Wer kein solches Instrument besitzt, kann es in den meisten Fällen, wo ein allmälig zunehmender Druck gefordert wird, dadurch entbehrlich machen, dass ein gewöhnliches Objecttäfelchen aufgelegt, zu beiden Seiten des Objectes aber und in einiger Entfernung davon zwischen beide Glastäfelchen eine weiche Masse gebracht wird, etwa ein Gemenge aus Wachs und etwas damit zusammengeschmolzenem Terpentin. Durch einen gleichmässigen Druck zwischen Daumen und Zeigefinger beider Hände lässt sich dann aufs Vollständigste dasjenige erreichen, was man mit dem Compressorium erzielt. Daneben gewährt diese einfache Vorrichtung noch einen den meisten Compressorien abgehenden Vortheil, dass sie nämlich alsbald umgekehrt werden kann, um die Wirkung des Druckes auf die gegenüberstehende Seite des Objectes zu untersuchen, was in vielen Fällen von wirklichem Interesse ist. Auch können die auf die angegebene Weise zubereiteten Täfelchen als mikroskopische Rolle benutzt werden, indem man sie langsam über einander schiebt, wobei die dazwischen befindliche Flüssigkeit nebst den darin enthaltenen Theilen, wie Blutkörperchen, Krystalle u. s. w., in Bewegung gerathen und somit dem Auge des Beobachters verschiedene Seiten darbieten.

Wann ein Druck als nützlich zu erachten ist, darüber lassen sich kaum allgemeine Regeln aufstellen, und eben so wenig über den Grad des Druckes, dem die Objecte ohne Nachtheil für die Untersuchung unterworfen werden dürfen. Das eigene Urtheil muss hier in der Regel den Entscheid geben. Vor Allem kommt hier in Berücksichtigung, welcher Zweck durch die Compression erreicht werden soll. Dieser Zweck kann aber ein dreifacher sein: a. Ein Object soll durchsichtiger werden, indem es zu einer dünneren Schicht comprimirt wird. Da die Form der Theile hierbei nothwendig eine Umänderung erfährt, so muss es als Regel gelten, dass man zu diesem Mittel nur dann seine Zuflucht nimmt, wenn andere und zuverlässigere Mittel nicht zur Anwendung kommen können. Druck ist z. B. unentbehrlich bei der Untersuchung der ersten Entwickelungsstadien von Pflanzen und Thieren, weil man hier wegen der Kleinheit und Weichheit der Theile keine Durchschnitte machen kann, und weil die vielen auf einander liegenden Schichten eine stärkere Undurchsichtigkeit veranlassen, weshalb man den Zusammenhang dieser

Schichten nicht wahrnehmen kann. Hier hat man nur Sorge zu tragen, dass kein stärkerer Druck angewendet wird, als znm Sichtbarmachen durchaus erforderlich ist. Die Untersuchung von Gehirn und Rückenmark lässt sich auch nicht wohl ohne Drnck ausführen. Gegen die Resultate dieser Beobachtnngen mnss man aber immer etwas misstranisch sein, weil der Druck nothwendiger Weise künstliche Anschwellungen der Nervenröhren zur Folge hat, sowie ein Austreten ihres Inhalts, der sich zu kleinen Kügelchen und scheinbaren Bläschen formt. b. Der mechanische Druck soll es ermöglichen, solide und hohle Objecte zu unterscheiden, wie weiter oben (§. 36) angegeben worden ist. Auch kann man dadurch leicht ins Klare kommen, ob ein kleiner, das Licht stark brechender runder Körper, den man sieht, ein Fettkügelchen oder ein Amylumkörnchen ist, oder etwa ein aus anorganischer Substanz, z. B. aus kohlensaurem Kalke bestehendes Gebilde. Durch Druck und gleichzeitiges Hin- und Herschieben der Glastäfelchen werden auch Falten an zwischenliegenden Häuten hervorgebracht, und das Vorhandensein der letzteren kann dann nicht mehr zweifelhaft sein. c. Ein mässiger Druck ist das geeignetste Mittel, um sehr bewegliche Objecte, namentlich Infusorien und andere kleine Thierchen, in der Bewegung zu hemmen.

Bei genauen Untersuchungen kleiner Thierchen kann man des 72
Druckes durchaus nicht entbehren, und bei einiger Uebnng lernt man bald den Druckgrad kennen, den dieselben aushalten können und der doch für die Beobachtnng ausreichend ist. Sind die Thierchen sehr zart, wie Infusorien, so muss zwischen das Objecttäfelchen und das Deckplättchen etwas Faseriges, wie Papier, Confervenfäden u. dergl., gebracht werden, um den Druck zu mässigen. Pouchet hat dazu ein sehr einfaches aber zweckmässiges Verfahren angegeben: in den Wassertropfen, worin sich die kleinen Thierchen befinden, legt er ein kleines Stückchen feines Nesseltuch, dieses bedeckt er mit einem Deckplättchen und so bilden dessen Maschen dann gleichsam eben so viele kleine Tröge, worin die Thierchen stecken.

Ein anderes Verfahren hat man einzuschlagen, wenn etwas grössere Thiere, wohin viele im Wasser lebende Larven gehören, znr Ruhe gebracht werden sollen. Man bringt sie nämlich in einen der früher beschriebenen kleinen Tröge mit soviel Wasser, dass der Trog ganz gefüllt ist, nnd darauf legt man ein Deckplättchen. Nach einiger Zeit hat das kleine Thier die wenige im Wasser enthaltene Luft verbraucht, durch den Luftmangel wird es allmälig asphyktisch, seine Bewegungen werden immer langsamer, und hören endlich mit dem Eintritte des Todes ganz auf. Einige Zeit vor dem Tode sind aber die Bewegungen schon so langsam geworden, dass man nicht blos die zusammensetzenden Theile, sondern zum Theil auch deren Verrichtungen erkennen kann.

Auch noch andere Mittel sind anempfohlen worden, um die Bewegungen kleiner Thiere einzuschränken. Bringt man etwas Aether oder Chloroform zur Seite eines Tropfens, worin sich Infusorien befinden, so werden die Thierchen allmälig, aber nur langsam ruhig. Deshalb reicht ein einzelner Tropfen nicht aus, sondern man muss nach dessen Verdunstung diesen Zusatz noch zwei bis drei Mal wiederholen; ja manche kleine Thiere, z. B. aus dem Geschlecht *Anguillula* (Ehrenb.) oder *Rhabditis* (Duj.) leisten selbst dann noch eine Zeit lang Widerstand. Besser ist es, man fügt Solutionen von anderen dem thierischen Lebeu nachtheiligen Substanzen hinzu, von salpetersaurem Strychnin, von *Extr. Opii aquosum*, von *Aqua Laurocerasi*. Es würde aber zu weit führen, wenn ich die Wirkung dieser Flüssigkeiten auf verschiedene Thierarten genauer erläutern wollte. Es sei hier nur so viel bemerkt, dass die Wirkung eine sehr verschiedenartige ist, und somit bald das eine, bald das andere Mittel den Vorzug verdient, ohne dass sich jedoch darüber allgemeine Vorschriften aufstellen lassen. Ihre Anwendbarkeit wird übrigens immer auf bestimmte Fälle beschränkt bleiben; denu die Thiere, welche dadurch zur Ruhe gekommen sind, befinden sich niemals im ganz normalen Zustande. Die meisten sterben auch, sobald sie zur Ruhe kommen, und mit dem Eintritte des Todes verändert sich ihre Gestalt und ihre innere Zusammensetzung. Das gilt besouders von den zarten Infusorien, deren ganze Oberfläche mit Wimperhaaren besetzt ist; sie bersten in dem Augenblicke, wo sie zur Ruhe kommen und absterben, so dass nur eine formlose Masse von ihnen übrig bleibt, worin man indessen noch einige Theile erkennt und die man dann natürlicher Weise auch genauer beobachteu kann als im lebenden Zustande. Hierin stimmeu alle die oben genannten Mittel mit einander überein. Dem Geübten können sie manchmal dazu verhelfen, Einzelnheiten des Gefüges mit grösserer Deutlichkeit und Sicherheit zu erkennen; dem ungeübten Beobachter gewähren sie keinen Vortheil.

73 Für andere bewegte Objecte sind wieder andere Mittel in Anwendung zu bringen, wenn sie gehörig gesehen werdeu sollen. Ich habe hierbei hauptsächlich die Bewegung der Säfte in lebenden organischen Körperu im Sinne, die Rotation des Zellensaftes und die sogenannte Cyclose bei den Pflanzen, den Blutumlauf oder die Bewegung der Ernährungsflüssigkeit bei den Thieren.

Die zuerst genanute Bewegungsart, die Rotation des Zellensaftes, ist sehr leicht wahrzunehmen: man braucht nur eine ungequetschte Pflanzenzelle der zarten Wurzelhaare von *Hydrocharis morsus ranae*, der Antherenhaare der *Tradescantia virginica*, der brennenden Haare von *Urtica urens* und *Urtica dioica*, oder die Zellen der verschiedenen Arten von *Chara* und *Nitella* u. dergl., wo die Erscheinung an den in Strö-

mung befindlichen Körpern sichtbar ist, mit Wasser zu befeuchten und unters Mikroskop zu bringen. Doch muss Sorge getragen werden, dass die Zellen keinen Druck durch das Deckplättchen erleiden, und deshalb muss etwas Weiches zwischen das Deckplättchen und die Objecttafel zu liegen kommen.

Um die Saftbewegung in den Milchsaftgefässen oder die mit Unrecht sogenannte Cyclose gehörig wahrzunehmen, bedarf es einiger Vorsichtsmaassregeln. Allerdings sieht man dieselbe ohne viele Mühe in den abgebrochenen durchsichtigen Theilen mancher milchsaftführenden Pflanzen, z. B. in den Schutzblättchen von *Ficus elastica*, in den jungen Kelchblättern von *Chelidonium majus* u. s. w.; diese Beobachtungen sind aber immer unzuverlässig, weil neben der eigenthümlichen Bewegung des Milchsaftes auch noch ein Ausfliessen desselben aus den getrennten Gefässen stattfindet. Die Bewegung in den Milchsaftgefässen selbst kann deshalb nur in den mit der lebenden Pflanze noch unmittelbar zusammenhängenden Organen mit ausreichender Sicherheit untersucht werden, und es muss die Pflanze in einem Blumentopfe zur Seite des Mikroskopes stehen, damit der Theil, der vermöge seiner geringen Dicke eine dem Zwecke entsprechende Durchsichtigkeit zu besitzen scheint, auf die Objecttafel des Mikroskopes gebracht werden kann, ohne dass man ihm eine gezwungene Richtung giebt. Zur Vermehrung der Durchsichtigkeit empfahl man früher das directe Sonnenlicht zur Beleuchtung zu nehmen; ich habe aber schon oben (I, §. 213) angegeben, dass dieses sich hierzu nicht eignet, vielmehr mancherlei Täuschungen veranlasst. Gewöhnliches helles Tageslicht genügt vollkommen bei einem Mikroskope, dessen Objectiv einen grossen Oeffnungswinkel hat. Die Durchsichtigkeit lässt sich dadurch noch vermehren, dass man den zu untersuchenden Theil von unten und von oben mit Wasser umgiebt. Am besten eignet sich hierzu ein seichter aber ziemlich grosser Glastrog, der ganz mit Wasser gefüllt wird und den man, nachdem der Pflanzentheil hineingelegt worden ist, zum Theil mit einer Glastafel von passender Grösse bedeckt, wobei man Sorge zu tragen hat, dass die an der Oberfläche des Objectes haftenden Luftblasen entfernt werden.

Um den Blutumlauf bei Thieren zu beobachten, kann man verschiedene Vorkehrungen treffen, die alle den Zweck haben, die Muskelbewegungen des Thieres zu beschränken und das Organ, woran die Beobachtung stattfinden soll, in das Gesichtsfeld des Mikroskopes zu bringen. Am liebsten werden natürlich solche Organe gewählt, die von Natur schon durchsichtig genug sind. Bei der Wahl der Mittel, wodurch das Thier zur Ruhe gebracht wird, kommt es auf dessen äussere Gestalt, auf seine Muskelkraft u. s. w. an. 74

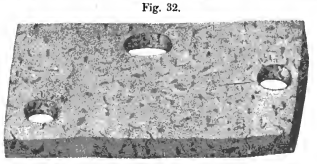
Will man den Blutumlauf im Schwanze einer Froschlarve beobach-

ten, so braucht man nur das Thierchen mit einem Löffel aus dem Wasser zu nehmen, auf ein Stückchen feines Fliesspapier von etwa 20 Millimeter Länge und 6 Millimeter Breite zu legen, und dieses um den Körper des Thierchens zu schlagen, an dem es der Feuchtigkeit halber von selbst kleben bleibt. Ist dies auf einem Objecttäfelchen geschehen, so hat man nichts weiter zu thun, als ein dünnes Glas- oder Glimmerplättchen auf den Schwanz zu legen. Wurde Sorge getragen, dass der Körper des Thierchens bei der Umwickelnng mit Papier nicht zu starken Druck erleidet, so kann man jetzt während einer geraumen Zeit den Blutumlauf ganz gut sehen.

Kleine Fischchen liegen manchmal lange genug still, so dass gar keine Befestigung nöthig ist; ist dies aber nicht der Fall, so kann man sie ebenfalls in solches Fliesspapier wickeln. Bei grösseren Thieren nimmt man einen baumwollenen oder leinenen Lappen, lässt aber den Schwanz oder die Flossen frei, worin man die Blutbewegung beobachtet.

Der Frosch eignet sich am besten dazu, den Blutumlauf in verschiedenen Organen zu untersuchen; hier sind aber noch einige andere Vorkehrungen erforderlich. Seit Jahren benutze ich dabei mit Erfolg eine Korkplatte (Fig. 32), die etwa 13 Centimeter lang und 9 Centimeter breit und mit drei Oeffnungen durchbohrt ist, zwei runden *a* und *b*, die reichlich einen Centimeter Durchmesser haben, und einer länglichen *c*,

Fig. 32.



Korkplatte als Froschhalter.

die etwa auf 1 Centimeter Breite 2 Centimeter Länge hat. Die relative Stellung dieser Oeffnungen ist aus der Figur deutlich zu entnehmen. Sie sind dazu bestimmt, jenen Theil darüber auszuspannen, dessen Blutumlauf beobachtet werden soll: *a* für die Zunge, *b* für die Schwimmhaut einer hinteren Extremität oder für die Lungen, *c* für die in der Bauchhöhle enthaltenen Organe.

Um die Bewegungen des Frosches zu behindern, kann man dreierlei Mittel in Anwendung bringen:

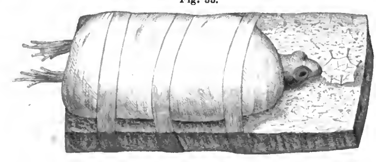
a. Um das vorderste Glied jedes Fusses bindet man einen Faden, und nachdem das Thier in die gehörige Lage auf der Korkplatte ge-

Digitized by Google

bracht worden ist, knüpft man die Fäden auf der anderen Seite der Korkplatte zusammen. Das Thier liegt dann unbeweglich fest. Soll aber der Blutlauf in der Schwimmhaut beobachtet werden, so darf man natürlich den Faden nicht um den Fuss legen, dessen Schwimmhaut zur Beobachtung dienen soll, sondern er muss dann an eine Zehe kommen. Ein einfacheres und weniger umständliches, freilich aber auch nicht von Grausamkeit frei zu sprechendes Mittel ist dieses, dass man die Beine des Thieres, statt sie durch Fäden zu befestigen, mit starken Stecknadeln auf die Korkplatte ansticht.

b. Man wickelt das Thier in einen leinenen oder baumwollenen Lappen von ziemlicher Grösse (Fig. 33). Dieses Verfahren eignet sich besonders zur Untersuchung des Blutumlaufs in der Zunge, und ist hierzu zuerst von Waller (*Phil. Mag.* 1846. Oct. S. 271) empfohlen worden. Aber auch für die Beobachtung des Blutumlaufs in der Schwimmhaut ist dasselbe anwendbar, wenn nur ausserdem um die Zehe des Fusses noch

Fig. 33.



Befestigter Frosch.

ein Faden gebunden und mittelst einer Nadel auf der Korkplatte befestigt wird. Das letztere Ziel erreicht man noch leichter, wenn man nach Quekett ein leinenes Säckchen nimmt, das durch eine Schnur und durch Klammern eng angezogen werden kann, so dass nur ein Fuss des Thieres frei bleibt.

c. Durch Aetherisiren erschlaffen die Muskelbewegungen, ohne dass der Blutumlauf eine wahrnehmbare Störung erleidet, und wo dasselbe sich anwenden lässt, da ist es das zweckmässigste Mittel von allen. Die einfachste Anwendungsweise beim Frosche ist die, dass man ein mit Aether oder Chloroform getränktes Läppchen ein Paar Minuten lang gegen das Geruchsorgan des in der anderen Hand gehaltenen Thieres andrückt. Wird das Aetherisiren so lange fortgesetzt, dass Empfindung und Bewegung nicht wiederkehren und das Thier ganz scheintodt ist, so dauern gleichwohl die Herzcontractionen und der Blutumlauf stundenlang noch unverändert fort, und nichts ist leichter, als die verschiedenen Organe eines in solchem Zustande befindlichen Thieres mit Vorsicht aus

der Brust- und Bauchhöhle herauszubringen, so dass sie über eine von den Oeffnungen in der Korkplatte zu liegen kommen. Bei der Zunge freilich ist das Aetherisiren nicht anwendbar, weil alle Häute, welche mit Aetherdämpfen in Berührung kommen, getrübt und undurchsichtig werden.

Ist auf eine der drei genannten Weisen das Thier zur Ruhe gebracht, und liegt der Theil, woran der Blutumlauf beobachtet werden soll, über einer der Oeffnungen in der Korkplatte, so muss er durch Ausbreiten noch durchsichtig gemacht werden. Dazu dienen Nadeln, womit man die Ränder befestigt und in entgegengesetzten Richtungen anzieht. Hat man z. B. die Zunge mittelst einer Pincette aus der Mundhöhle herausgezogen, so wird ihre Spitze (s. Fig. 33) am gegenüberliegenden Rande der Oeffnung angesteckt. Dann werden zu beiden Seiten die Ränder der Zunge noch durch zwei Nadeln befestigt, so dass dieselbe zwar viel breiter, zu gleicher Zeit aber auch viel dünner wird. Damit für das Objectiv des Mikroskopes hinlänglicher Raum übrig bleibt, müssen alle Nadeln so gesteckt werden, dass ihre Köpfe seitlich gerichtet sind. Um die Durchsichtigkeit zu vermehren und zugleich das Eintrocknen zu verhüten, wodurch der Blutumlauf aufhören würde, ist es nöthig, den Theil mit einer hinlänglichen Menge Wasser zu befeuchten und dann noch ein Glimmerblättchen oder ein kleines Glastäfelchen aufzulegen, damit die Oberfläche mehr abgeplattet wird.

Auf ganz analoge Weise verfährt man beim Ausbreiten der Lungen, der Schwimmhaut, des Gekröses. Leber und Nieren lassen sich nicht so behandeln, oder man muss diese Organe quetschen. Indessen kann man bei auffallendem Lichte auch an ihnen den Blutumlauf noch ziemlich gut wahrnehmen, und bei durchfallendem Lichte an den immer mehr durchscheinenden Rändern; freilich, wie sich von selbst versteht, nicht so deutlich als in häutigen Theilen.

Die beschriebenen Methoden der Untersuchung des Blutumlaufes beim Frosche dürften meines Erachtens den Leser in den Stand setzen, die Erscheinung auch bei anderen Thieren, selbst bei kleinen Säugethieren, wahrzunehmen. Das Aetherisiren ist hier ein allgemein passendes Mittel. Nur muss man den Apparat nach der Gestalt und Grösse des Thieres modificiren.

Beim Beobachten der beweglichen Ernährungsflüssigkeit der Insecten und der übrigen Wirbellosen, bei denen ein Blutumlauf oder eine parallele Function vorkommt, läuft die Hauptsache darauf hinaus, dass man ein passendes Object und an diesem wiederum durchsichtige Theile auswählt. Eine Aufzählung der im Besondern sich eignenden Thiere würde dem Zwecke dieser Schrift nicht entsprechen, und verweise ich daher den Leser über diesen Punkt auf Schriften, welche speciell darüber handeln. In der im Jahre 1844 von der belgischen Akademie gekrönten

Digitized by Google

Abhandlung des Dr. C. Verloren (*Mémoires couronnés* T. XIX, p. 20 — 28) sind nicht weniger als 90 Insectenarten aufgezählt, bei denen Erscheinnngen des Säfteumlaufes beobachtet worden sind.

Alle genannten Bewegungen von Flüssigkeiten in den Höhlen eines 75
lebenden Organismns, sei es Pflanze oder Thier, werden dem Ange nur dadnrch sichtbar, dass sich kleine Körperchen darin befinden, die mit dem Strome fortgetrieben werden. Ist die Strömung eine sehr rasche, so folgen die von diesen Körperchen entstehenden Gesichtseindrücke sehr rasch auf einander, und wohl zu rasch, als dass jeder für sich wahrnehmbar sein könnte. Denn da ein Gesichtseindruck im Mittel $^1/_3$ Secnnde anhält (I, §. 99), so werden zwei Eindrücke, die um einen geringeren Zeitraum aus einander liegen, zu Einem Eindrncke verschmelzen. Daher kommt es, dass man bei der Cyclose der Pflanzen sowohl als beim Blutnmlaufe der Thiere, so lange die Strömung in voller Kraft ist, die in der Flüssigkeit mitbewegten Körperchen sehr schwer isolirt erkennt.

Das Gleiche gilt von der Flimmerbewegung, die man in so zahlreichen Fällen beobachten kann, an den Rändern der Epithelialschicht der meisten Schleimhäute, an der Oberfläche der Fangarme vieler Polypen, an den Branchien der Mollusken, bei den meisten wahren Infusorien u. s. w. Man erkennt sie in der That nicht als das, was sie wirklich ist, nämlich ein Heben und Senken dünner Härchen, sondern eher als eine Strömnng in einer bestimmten Richtnng längs der Ränder des Objectes, und von den diese Strömung erzeugenden Härchen sieht man keine Spnr, so lange die Bewegung in der nrsprünglichen Raschheit vor sich geht.

Zwei Mittel hat man in Vorschlag gebracht, nm solche schnelle Bewegungen mikroskopischer Objecte zu einem scheinbaren Stillstande zu bringen, einmal nämlich die Beleuchtung durch das Licht des elektrischen Fnnkens, und zweitens eine sich schnell drehende und mit einer Oeffnung versehene Scheibe, welche zwischen das Object und die Lichtqnelle kommt, so dass das Gesichtsfeld periodisch erhellt und verdunkelt wird. Die betreffenden Vorschläge sind bei dem gegenwärtig so raschen Fortschritte der Naturwissenschaften fast gleichzeitig von mehr denn einer Seite gemacht worden.

Die Beleuchtung durch den elektrischen Fnnken wurde namentlich von England aus durch Pritchard (*Microscopical Illustrations*, 3 Ed. 1845. p. 137) empfohlen, der aber diese Idee einem anderen entlehnt zu haben scheint; die drehende Scheibe dagegen wurde von Doppler (*Zwei Abhandlungen aus dem Gebiete der Optik.* 1845) empfohlen. In Holland beschäftigte sich Dr. A. van Beek (*Tydschr. voor de Wis- en Natuurkundige wetenschappen etc.* I, p. 157) längere Zeit mit der Verwendung

Digitized by Google

dieser beiden Mittel, und schon 1845 theilte mir derselbe Einiges über seine prüfenden Beobachtungen mit.

Die Versuche von Wheatstone haben gelehrt, dass die Dauer des elektrischen Funkens noch nicht den millionsten Theil einer Secunde erfüllt, also so knrz ist, dass ein dadurch beleuchteter und in Bewegung befindlicher Körper, der innerhalb dieses verschwindenden Zeitraums seinen Platz nicht merklich verändert, scheinbar ganz in Ruhe verharren sollte. Bekanntlich bestätigt sich dies auch bei der Beobachtnng schnell umgedrehter Körper, welche durch den elektrischen Funken erleuchtet werden. Für mikroskopische in rascher Bewegung befindliche Objecte benutzte Pritchard die Funken eines elektromagnetischen Rades, welches in Quecksilber tauchte. Dr. van Beek benutzte lieber die Funken einer grossen Leydener Flasche, die mit dem allgemeinen Auslader in Verbindung stand nnd so gestellt war, dass die Funken in Zwischenzeiten von nngefähr drei Secunden auf einander folgten. Als Beobachtungsobject wurde ein Theil der Froschzunge genommen, an deren Rändern man die Flimmerbewegung der Cilien auf der Schleimhaut recht gut sehen kann. Die Versuche wurden Abends angestellt und da zeigte es sich sehr bald, dass der rasche Wechsel zwischen einem ganz dunkeln Gesichtsfelde und einem solchen, welches während einer sehr kurzen Zeit durch den elektrischen Funken hell erleuchtet wurde, das Auge dermaassen blendete, dass jede nur einigermaassen genaue Beobachtung unmöglich fiel. Um diesen Uebelstand zu beseitigen, wurde zur Seite des Objectives eine Kerze gestellt, so dass das Gesichtsfeld anhaltend schwach erhellt blieb, was anch noch den Vortheil gewährte, dass man das Auge immer auf jenen Punkt des Gesichtsfeldes richten konnte, wo die Flimmerbewegung stattfand. Was die Resultate dieser Versuche betrifft, so kann ich nur die Worte des Dr. van Beek unterschreiben, dass man durch dieses Mittel die Flimmerbewegung scheinbar ganz zum Verschwinden bringen kann, dass es aber niemals dahin kommt, am Rande der benutzten Schleimhaut Härchen zu sehen. Nnn unterliegt das Vorhandensein von Cilien durchaus keinem Zweifel. Aus jenen Beobachtungen lässt sich daher meines Erachtens nur so viel schliessen, dass die dabei angewendete Beleuchtungsart, wie richtig auch das dabei zu Grunde liegende Princip an sich sein mag, ganz ungeeignet erscheinen muss, eine genaue Beobachtung anzustellen, da der empfangene Eindruck zu kurz ist, als dass er gehörig zum Bewusstsein gelangen und gedeutet werden könnte. Mag man auch die Anzahl dieser Eindrücke noch so sehr vervielfältigen, man gewinnt dadurch wenig oder gar nichts, weil in dem Augenblicke. wo das Gesichtsfeld erleuchtet wird, die in Bewegung befindlichen Objecte, die Cilien nämlich, sich immer in einem anderen Znstande und in einer anderen Richtung befinden. Es erfolgt also nicht eine Wiederholung des nämlichen Gesichtseindruckes, sondern es entstehen immer neue Eindrücke. Die früheren Eindrücke

Digitized by Google

können daher nur dazu beitragen, die nachfolgenden zu verwirren, nicht aber, sie leichter zu deuten.

Das andere vorhin genannte Hülfsmittel stützt sich auf ein bekanntes von Faraday, Plateau, Stampfer und Anderen bereits früher auf andere Fälle angewandtes Princip. Wird nämlich ein in periodischer Bewegung begriffener Körper durch die Oeffnung einer schnell sich umdrehenden Scheibe betrachtet, und kommt die Schnelligkeit, womit sich diese Scheibe dreht, jener der beobachteten Bewegung gleich, oder ist sie ein Multiplum dieser letzteren, dann muss das Auge das Object immer an der nämlichen Stelle und in der nämlichen Richtung sehen, so oft jene Oeffnung an dem Auge vorübergeht. Folgen nun die Eindrücke immer in einem Zeitraume auf einander, welcher kürzer ist, als die zum Verschwinden eines distincten Eindruckes nöthige Zeit von etwa $^1/_3$ Secunde, dann werden alle auf einander folgenden Eindrücke mit einander verschmelzen und das Object befindet sich scheinbar in Ruhe.

Doppler empfahl dazu die Sirene von Cagniard la Tour, besonders deshalb, weil man in dem vernehmbaren Tone, den dieses Instrument hervorbringt, ein Mittel hat, die Geschwindigkeit der Umdrehung zu bestimmen. Kennt man nämlich die Geschwindigkeit, welche bei der sich drehenden Scheibe erforderlich ist, um die Bewegung in einen scheinbaren Stillstand umzuändern, so ist klar, dass man zugleich auch die Geschwindigkeit der Bewegung des Objectes kennt. In der That würde es nichts Unerhebliches sein, wenn man ein Hülfsmittel besässe, um Zeiträume messen zu können, die sich auf keine andere Weise messen lassen. Indessen scheint Doppler sein Verfahren selbst nicht in Anwendung gebracht zu haben.

Bei den Versuchen, welche Dr. van Beek hierüber mit mir angestellt hat, wurde eine Scheibe benutzt, der durch ein Räderwerk eine schnell drehende Bewegung gegeben werden konnte. Diese Scheibe kam zwischen die Lichtquelle und den Objecttisch eines horizontal stehenden Mikroskopes. Das beobachtete Object war wiederum ein Theil der Zunge eines Frosches. Aller angewandten Mühe ungeachtet gelang es uns doch nicht, die Cilien in solche Ruhe zu bringen, dass sie distinct zu unterscheiden gewesen wären, mag nun die Geschwindigkeit der Umdrehung selbst zu ungleich sein, als dass die Geschwindigkeit der Scheibenumdrehung ihr genau correspondiren könnte, oder mag ein anderer uns unbekannter Umstand an diesem verfehlten Resultate Schuld sein. Vielleicht sind Andere weiterhin glücklicher und lernen durch Wiederholung dieser Versuche die Umstände kennen, auf welche Rücksicht genommen werden muss, um Resultate zu erhalten, welche mit der auf guter Basis beruhenden Theorie besser im Einklange stehen.

Glücklicher Weise ist das Gelingen oder Fehlschlagen der angegebenen Methoden für die mikroskopische Untersuchung der organischen Be-

Digitized by Google

wegungen ziemlich gleichgültig, insoweit es nämlich darauf ankommt, das Vorhandensein oder das Fehlen der sich bewegenden Theile zu entdecken. Allmälig nimmt die Geschwindigkeit aller jener Bewegungen ab: die Blutkörperchen werden immer langsamer fortbewegt, die Oscillationen der Cilien werden nach und nach träger, und so wird ein Beobachter, dem es nicht durchaus an Geduld gebricht, immer Gelegenheit haben, von deren Vorhandensein sich zu überzeugen, ohne dass er genöthigt ist, zu jenen zwar richtigen, aber höchst umständlichen und deshalb nicht gerade praktischen Hülfsmitteln seine Zuflucht zu nehmen.

76 Ein unentbehrliches Hülfsmittel bei der mikroskopischen Anatomie thierischer Organe ist das Einspritzen der feinsten Gefässe mit gefärbten Substanzen. In der That ist es nicht möglich, von den Theilungen, vom Verlaufe, ja auch nur vom Vorhandensein der höchst zarten Haargefässe sich auf andere Weise zu überzeugen, da man sie nach dem Tode nur selten mit Blut gefüllt findet. Findet dies aber auch statt, so ist die Durchsichtigkeit der Blutkörperchen selbst zu gross, als dass ihr Vorhandensein anders zu ermitteln wäre, als wenn sie selbst oder das enthaltende Gefäss gehörig isolirt sind. Hat man alle Mühe erschöpft, die Zusammensetzung eines Organs gründlich zu erforschen, ohne jedoch die Gefässe zu injiciren, so wird die spätere Untersuchung guter Injectionspräparate zur Ueberzeugung führen, dass man bis dahin von dessen Bau sich eine mangelhafte und unvollkommene Vorstellung gemacht hat. Die Injection belehrt uns aber nicht blos über den Verlauf der Gefässe, der mit der Verschiedenheit der Theile im genauesten Zusammenhange steht, und somit auch zur Aufhellung ihres Gefüges und ihrer Verbindungen beiträgt, sondern das ganze Bild wird anschaulicher und plastischer, und dazu trägt der starke Gegensatz zwischen dem Colorit der zur Injection benutzten Substanzen und des übrigen Gewebes nicht wenig bei. Wirklich verfehlen auch wohlgelungene Injectionen niemals auf denjenigen, der sie zum ersten Male durchs Mikroskop betrachtet, einen lebhaften Eindruck zu machen, nicht nur wegen der Zierlichkeit, welche allen Capillarnetzen bei sonstigem Wechsel in der Form und Verästelung zukommt, sondern auch deshalb, weil sich dann das mikroskopische Bild besser deuten und verstehen lässt, so dass selbst der Ungeübteste sich leicht zurecht findet und sich ein klares Bild vom Gesehenen macht, was von den meisten anderen mikroskopischen Beobachtungen durchaus nicht behauptet werden kann.

Eine Anweisung zum Anfertigen solcher Präparate darf daher auch hier nicht fehlen. Um aber nicht zu weit ins Gebiet der allgemeinen praktischen Anatomie einzugreifen, werde ich hier kurz sein und mich auf Anführung desjenigen beschränken, was ich durch eigene Versuche als zweckmässig erkannt habe.

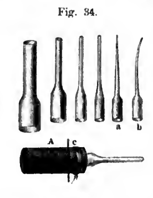
Das gebräuchlichste Instrument znr Ausführung von Injectionen ist die Spritze. Es versteht sich von selbst, dass diese gut und sauher gearbeitet sein mnss, so dass der Stempel gut auf- und niedergeht und auch gehörig schliesst. Die Grösse der Spritze richtet sich nach der Grösse des Objectes, dessen Gefässsystem eingespritzt werden soll. Man kann freilich mit einer grösseren Spritze auch eine geringere Quantität Injectionsmasse einspritzen, und eine kleinere Spritze vermag durch wiederholte Füllnng den Mangel einer grösseren zu ersetzen; gleichwohl ist es vorzuziehen, wenn man zwei oder mehr Spritzen von verschiedener Grösse hat, weil es schwer fällt, mit einer weiteren Spritze, wo mithin die Oberfläche des Stempels sehr gross ist, den Druck so gemässigt und geregelt wirken zu lassen, dass die Blutgefässe in sehr kleinen Thieren oder Organen nicht zerreissen, und weil andererseits das Injiciren grösserer Theile oftmals nicht gut ausfällt, wenn man das Geschäft dnrch wiederholte Füllung der Spritze immer unterhrechen muss. Für die meisten hier vorkommenden Fälle ist eine Spritze, welche $^1/_2$ Liter Wasser fasst, ausreichend; die kleinere Spritze aber sollte etwa $^1/_{10}$ Liter fassen. 77

Zu jeder Injectionsspritze gehören mehrere Kanülen von verschiedenem Dnrchmesser, entsprechend der Weite der Gefässe, in die sie eingesetzt werden müssen. Man kann sich dergleichen Röhrchen von solcher Feinheit verschaffen, dass kaum ein Kopfhaar durchgeht. So feine Röhrchen verstopfen sich aber leicht und passen nur für wenige Fälle; am gebräuchlichsten sind jene, die ein Lnmen von $^1/_3$ his 3 Millimeter besitzen. Bei manchen Spritzen wird die Kanüle durch eine Schraube angefügt. Das ist überflüssig und unbequem; ein einfaches Einschiehen ist ganz ausreichend, wenn die Spitze der Spritze gut in die Oeffnnng der Kanüle passt. — Für manche Fälle ist es vortheilhaft, wenn zwischen die Spitze des Spritzenrohrs und die Kanüle eine an beiden Enden mit den nöthigen messingenen Ansatzstücken versehene Röhre von vnlkanisirtem Kautschuk eingeschoben wird. Die Spitze kann dann in verschiedener Richtung bewegt werden, ohne zn hesorgen, dass das Gefäss, worin die Kanüle steckt, durch dieselhe gequetscht wird. Da jedoch die Kautschnkröhre dnrch die Wärme der Injectionsmasse zu weich wird, als dass sie dem Andrange gehörigen Widerstand zu leisten vermöchte, so muss sie einen Ueberzug von Leinwand oder Kattun hekommen. Diese nützliche Zugabe zum Injectionsapparate habe ich zuerst durch Schroeder van der Kolk kennen gelernt.

Anstatt der Metallkanülen benutze ich seit einiger Zeit solche von Glas, die man sich leicht selbst bereiten kann, wenn man dünne Glasröhren von 4 his 5 Millimeter Durchmesser in einer Alkohol- oder Gasflamme in die gewünschte Form (Fig. 34 a. f. S.) auszieht. Es lässt sich so ein Satz Kanülen von verschiedener Weite herstellen, die mit dem dickeren Ende ans Kautschukröhrchen *A* befestigt werden, welches etwa

2 Centimeter lang und so weit ist, dass die Spitze der Spritze sich hineinschieben lässt und davon umschlossen wird. Um die Enden des Fadens, womit das Gefäss unterbunden wird, zu befestigen, wird durch die Wand der Kautschukröhre eine Nadel *c* gestochen, deren Enden man abkneipt. Ein Paar von diesen Kanülen (*a*, *b*) können so eingerichtet werden, dass sie in eine feine Spitze auslaufen und in einiger Entfernung von dieser eine Oeffnung besitzen. Das erreicht man, wenn man eine an einem hölzernen oder beinernen Griffe befestigte Nadel in das offene Ende der Kanüle schiebt, und dieses Ende wiederum an den Rand der Flamme hält, dass es weich wird. Die Nadel darf aber nur an einer Seite des Glases anstossen. Nimmt man sie wieder heraus, so folgt ein Theil des Glases nach und wird in einen feinen Punkt ausgezogen, so dass bei einiger Gewandtheit in der Ausführung und wenn das Röhrchen im rechten Augenblicke der Flamme entrückt wird, dadurch eine seitliche Oeffnung zu Wege gebracht wird. Derartige Kanülen bewähren sich besonders bei dünnen und zarten Gefässen, zumal beim Injiciren der Lymphgefässe.

Fig. 34.



Harting's gläserne Kanülen.

Manchmal kann man auch das von Rusconi (*Annal. des Sc. nat.*, Serie 2, XVII, p. 111) empfohlene Verfahren in Anwendung bringen. Er nimmt den Schaft einer Feder von der Krähe, vom Rebhuhn oder einem noch kleineren Vogel und schiebt eine Nadel ein, wodurch das Ganze eine Art Trokar wird. Das kleine Gefäss, in welches man injiciren will, wird mit einer Pincette angezogen und die Spitze der Nadel eingestochen. Dann schiebt man den Federschaft in die gemachte Oeffnung und entfernt die Nadel; in das offene Ende des Schaftes aber bringt man hierauf das dünne Ende einer kleinen Injectionsspritze, die vorher mit gefärbter Masse gefüllt worden ist.

In manchen Fällen, namentlich zum Injiciren kleiner und zarter Thiere, Mollusken u. dergl., wo die Gefässe zu unterbinden unmöglich ist, kann man recht gut eine Glaspipette benutzen, deren eines Ende in ein feines umgebogenes Röhrchen ausgezogen ist. Dieser Theil muss kegelförmig zulaufen, damit beim Einführen in das Gefäss zugleich die Oeffnung abgeschlossen wird. Bequemer ist aber der in Fig. 35 in halber Grösse dargestellte Apparat, den man sich selbst herrichten kann, und den man, nur etwas mehr complicirt, auch bei Strauss-Durckheim (I, p. 112) und weiterhin bei Alfred Tulk und Arthur Hen-

frey (*Anatomical Manipulation.* Lond. 1844) beschrieben findet. Er besteht aus einer gewöhnlichen gläsernen Pipette *ab* von ziemlicher Grösse, wie man sie unter den Glaswaaren zum chemischen Gebrauche vorräthig findet, nnd aus einer Kautschnkröhre *cd*, die mit dem einen Ende um den dickeren Theil eines fein ausgezogenen und unter einem stumpfen Winkel umgebogenen Glasröhrchens *ef* mittelst eines Fadens befestigt wird. Beim Gebrauche wird die Pipette in die farbige Flüssigkeit gebracht, durch Ansangen gefüllt und in das offene Ende der Kautschukröhre gesteckt, worin sie wegen der kegelförmigen Gestalt fest genng anschliesst.

Statt der Spritze können auch noch andere Apparate in Anwendung kommen, die das voraus haben, dass die zu injicirende Flüssigkeit unter einem geregelten Drucke steht.

Ludwig hat zuerst den Druck einer Quecksilbersäule hierzu benntzt. Der dazu benntzte Apparat, woran **ich** Einiges verändert habe, ist in Fig. 36 (a. f. S.) dargestellt. An der dreihalsigen Wnlf'schen Flasche *A* ist der erste Tubulns *a*, der zum Eingiessen der Flüssigkeit bestimmt ist, durch einen genau passenden Kork verschliessbar. Durch den zweiten Tubulus *b* geht eine Glasröhre *m* bis nahe an den Boden der **Wulf**'schen Flasche; an ihr ist bei *d* ein drehbarer Hahn angebracht, nnd ihr oberes Ende steckt in einer mit Tricot überzogenen Kautschukröhre *e*, woran der Trichter *f* befindlich ist, der, wie leicht ersichtlich, höher oder tiefer gestellt werden kann, natürlich nnter Betheiligung der Kautschnkröhre. Die Röhre und der Trichter zusammen haben eine Länge von 0,7 bis 0,8 Meter. In den dritten Tubulus *c* passt eine kurze Glasröhre mit dem angefügten Kautschukrohre *h*. Auf dieses folgt ein gläserner Hahn *i*, darauf nochmals ein kurzes Kautschukrohr *k* mit einem konischen Glasröhrchen *l*; letzteres wird beim Injiciren in das offene Ende der Kanüle (Fig. 34 *A*) eingeschoben. — Soll der Apparat in Gebranch kommen, so wird znnächst der Hahn *d* geöffnet nnd der Trichter mit dem Kautschukrohre *e* hoch gestellt; dann kommt Quecksilber hinein, bis das Ende der Glasröhre *m* unter Quecksilber steht. Jetzt wird der Hahn *d* geschlossen, durch den Tubulus *a*

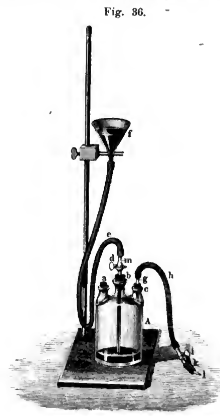
Fig. 35.



Injectionsapparat.

aber Injectionsflüssigkeit in die Flasche gegeben, und diese ganz damit gefüllt, oder doch so weit, dass das Ende des Röhrchens *g* hineinreicht. Ist *a* geschlossen, so füllt man nun die Kautschukröhre *e* durch den Trichter *f* mit Quecksilber, und durch Höher- oder Tieferstellen vermehrt oder vermindert man den Druck. Bei *d* und *i* wird jetzt geöffnet, so dass die Flüssigkeit dnrch *l* austreten kann, und man hat es in der Gewalt, den Ansfluss langsamer oder schneller zn machen, indem die Hähne wenig oder weit geöffnet werden. In dem Maasse, als die Injectionsflüssigkeit austritt, fällt das Niveau des Quecksilbers im Trichter und es muss wieder zngegossen werden. Es ist deshalb räthlich, einen ziemlich weiten Trichter zu nehmen.

Fig. 36.



Injectionsapparat mit Quecksilberdruck.

In manchen Fällen lässt sich der Quecksilberapparat dnrch den ursprünglich zu einem anderen Zwecke bestimmten Irrigator Egnisier's (Fig. 37) ersetzen. Die Herrichtung für Gefässinjectionen kann dadurch erzielt werden, dass man die Kautschukröhre *a* mit dem in die Kanüle passenden Glasröhrchen *b* hinzufügt. Beim Irrigator ist das nämliche Princip in Wirksamkeit gesetzt, wie bei den Moderateurlampen: der Druck auf den Stempel erfolgt durch eine Feder, die mittelst der Kurbel *e* in die Trommel *d* aufgewunden wird. Der Druck eines solchen Irrigators lässt sich zwar nicht in gleicher Weise reguliren, wie bei Benutzung einer Quecksilbersäule; aber durch den Hahn *c*, welcher die Kautschnkröhre *a* mit dem Irrigator in Verbindung setzt, hat man es ganz in der Gewalt, die Flüssigkeit beliebig schnell oder langsam, binnen mehrerer Secunden oder Stunden ausfliessen zu lassen. Ich habe mehrfach gelungene Injectionen mit dem Irrigator ausgeführt, der übri-

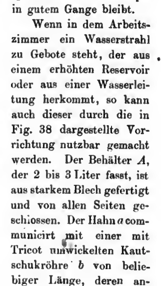
Digitized by Google

gens weit leichter gehandhabt wird, als die Quecksilbersäule. Man muss ihn aber nach jedesmaliger Beuutzung mit Wasser (nach Leiminjectionen

Fig. 37.



Eguisier's Irrigator als Injectionsapparat.



mit warmem Wasser) ausspülen, damit der Stempel in gutem Gange bleibt.

Wenn in dem Arbeitszimmer ein Wasserstrahl zu Gebote steht, der aus einem erhöhten Reservoir oder aus einer Wasserleitung herkommt, so kann auch dieser durch die in Fig. 38 dargestellte Vorrichtung nutzbar gemacht werden. Der Behälter *A*, der 2 bis 3 Liter fasst, ist aus starkem Blech gefertigt und von allen Seiten geschlossen. Der Hahn *a* communicirt mit einer mit Tricot umwickelten Kautschukröhre *b* von beliebiger Länge, deren an-

Fig 38.



Harting's Injection durch Wasserdruck.

deres Ende mit der Oeffnung in Verbindung gebracht wird, woraus der Wasserstrahl kommt. Die Glasröhre *cd* communicirt mit dem Behälter und giebt den Stand des darin befindlichen Wassers an, welches durch den Hahn *h* ablaufen kann. Durch das Quecksilbermanometer *e*, welches zu beiden Seiten durch die Leisten *f* und *g* geschützt ist, wird die Spannung der Luft im Behälter gemessen. Dieser Behälter wird nun durch den verschliessbaren Ausläufer *i*, woran die Kautschukröhre *k* mit dem Ansatze *l* befestigt ist, mit der dreihalsigen Wulf'schen Flasche *B* in Verbindung gesetzt. Die Injectionsflüssigkeit wird in diese Flasche durch den Tububus *m* eingegossen, der dann durch einen Stopfen verschlossen wird, und kann durch die Glasröhre *n*, die Kautschukröhre *o* nnd das Ausflussröhrchen *p* und *q* ausgetrieben werden.

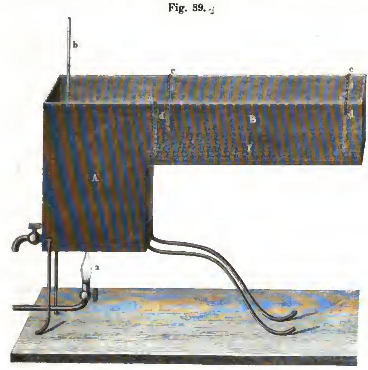
Die Wirkungsweise dieses Apparates ist leicht verständlich. Der Behälter *A* ist eine Art Windkessel, worin die Luft durch das eingetriebene Wasser verdichtet wird, und diese verdichtete Luft treibt die Injectionsflüssigkeit heraus. Der Hahn *p* wird geschlossen, und bei *a* lässt man Wasser in den Behälter *A* strömen, dass die Luft darin eine durchs Manometer *e* angegebene Verdichtung erfährt. Hierauf wird *p* geöffnet nnd die Injectionsflüssigkeit strömt heraus. Die Geschwindigkeit des Ausströmens kann durch die Hähne *a* und *p* regulirt werden. Fliesst in einer gegebenen Zeit ebensoviel Wasser in *A* hinein, als Injectionsflüssigkeit aus der Flasche *B* austritt, so bleibt der Druck des Apparates ein constanter. Der Ausfluss mehrt sich durch stärkeres Oeffnen des Hahnes *p*, er mindert sich, wenn dieser weniger geöffnet wird. Durch Oeffnen des Hahnes *h* lässt sich der Druck, wenn nöthig, vermeiden. Mit einem Worte, durch gehörige Stellung der Hähne kann man eine geraume Zeit hindurch den Ausfluss unter einem fast nnverändert gleichen Drucke statt finden lassen, oder man kann den Druck erhöhen oder erniedrigen.

Es empfiehlt sich dieser Apparat auch noch dadurch, dass die Wulf'sche Flasche *B* gleich nach der Benutzung gegen eine andere vertauscht werden kann, worin sich eine andersartige Injectionsflüssigkeit befindet. Es ist selbst räthlich, für jede Injectionsflüssigkeit eine besondere Flasche zu verwenden, worin dieselbe bleiben kann, wenn man den Apparat ausser Gebrauch setzt. Zum Behufe des genannten Wechsels kann am Auslassrohre des Behälters der Hahn *i* angebracht werden, damit, wenn der Wechsel vorgenommen worden ist und jener Hahn geöffnet wird, die Injectionsflüssigkeit sogleich dem bestimmten Drucke ausgesetzt ist.

Bei Leiminjectionen muss das zu injicirende Object sowohl als die Injectionsmasse auf eine Temperatur von 35° bis 40° C. gebracht werden. Hierzu passt der in Fig. 39 abgebildete Injectionstrog aus gutem Eisenblech. Man füllt ihn mit lauwarmem Wasser, und durch eine Alkoholflamme oder besser noch durch eine Gasflamme *a* wird die gewünschte Temperatur, die man am Thermometer *b* abliest, unterhalten. In den

tieferen Theil *A* kommt das die Injectionsflüssigkeit enthaltende Gefäss, also die Wulf'sche Flasche (Fig. 36 und Fig. 38) oder der Irrigator (Fig. 37). Nöthigenfalls erhöht man den Boden durch eingelegte platte

Fig. 39.



Injectionstrog.

Backsteine. Der längere und weniger tiefe Theil *B* soll das zu injicirende Object aufnehmen. Dasselbe liegt auf einem mit vielen Löchern siebartig durchbohrten Boden *f*, der durch 4 kleine Kettchen *cccc* an den Ecken erhoben werden kann, die dann an den Häkchen *dd* auf der Aussenfläche eingehängt werden.

Das Gelingen einer Injection ist zum grossen Theil durch die dazu verwendete Substanz bedingt. Bei gröberen Injectionen, wo es nur darauf ankommt, die grösseren, noch mit blossem Auge wahrnehmbaren Gefässe sichtbar zu machen, findet man leicht eine passende Injectionsmasse; bei feineren, zu mikroskopischen Untersuchungen bestimmten Injectionen dagegen ist es recht schwer, allseitig genügende Injectionsstoffe zu finden 78

und die Auswahl wird hier immer eine beschränkte bleiben. Die Injectionsmasse muss folgende Bedingungen erfüllen:

1) Sie muss ohne Mühe in die feinsten Gefässchen eindringen, ohne dass diese dadurch zu stark ausgedehnt oder zerrissen werden.

2) Sie darf ungeachtet ihrer grossen Flüssigkeit doch nicht durch die Wandungen der Capillaren dringen.

3) Sie muss die passende Färbung besitzen, dass jedes Gefässchen scharf und deutlich, bei durchfallendem wie bei auffallendem Lichte, unterschieden werden kann.

4) Diese Färbung muss überall eine gleichmässige sein, d. h. der benutzte Farbstoff muss überall ein zusammenhängendes Ganzes bilden, ohne dass sich eine Spur von Körnchen zeigt, selbst nicht in den feinsten Gefässchen.

Jede Injectionsmasse enthält noch als Constituens eine Flüssigkeit, worin der färbende Bestandtheil aufgenommen wird, und man hat hierzu mancherlei Substanzen empfohlen *). Geschmolzenes Wachs, Talg, Walrath, Kakaobutter und ähnliche nur bei einer höheren Temperatur flüssige Körper können blos bei gröberen Injectionen in Betracht kommen. Für feine Injectionen ist von Manchen Terpentinfirniss angepriesen worden. Bei wiederholt damit angestellten Versuchen haben aber solche Firnissinjectionen weder mir noch meinem Collegen Schroeder van der Kolk gelingen wollen; zudem hat auch der Terpentinfirniss die unbequeme Eigenschaft, dass er nur sehr langsam trocknet und genugsam erhärtet, daher man Gefahr läuft, dass die Injectionsmasse aus den durchschnittenen Gefässen austritt und die Oberfläche der Präparate verunreinigt.

Nur zur Injection oberflächlicher Gefässnetze, wo also das Organ nicht erst durchschnitten werden muss, um die injicirten Theile gut zu sehen, kann eine derartige Injectionsmasse mit Vortheil benutzt werden, wie die bekannten schönen Injectionen Hyrtl's lehren. Nach mündlicher Mittheilung besteht die von ihm benutzte Injectionsmasse aus gleichen Theilen weissem Wachs, Canadabalsam und Mastixfirniss. Auf ein Pfund dieser Masse kommt 1 Loth Mennige, damit sie besser gerinnt. Zur Färbung benutzt er die in kleinen Blasen oder in Stanniolkapseln aufbewahrten Malerfarben. Der erwärmten Masse wird soviel Terpentinöl zugesetzt, dass sie gehörig flüssig erscheint, und alsdann wird der Farbstoff darunter gemengt. Die Farbstoffe, deren er sich gewöhnlich bedient,

---

*) Das Quecksilber übergehe ich mit Stillschweigen, als ganz unpassend zu mikroskopischen Injectionen, da es vermöge seiner Schwere die feinen Gefässe viel zu stark ausdehnt, zerreist und dann sich allerlei Wege in dem Gewebe der Organe bohrt. Auch bei der Injection der Lymphgefässe lässt es sich durch weniger schwere Flüssigkeiten ersetzen, wie schon Rusconi, Breschet und in neuerer Zeit Teichmann, Ludwig, Tomsa, His, Frey und Andere dargethan haben.

sind Zinnober und Chromblei, sowie Bleiweiss mit einer sehr geringen Quantität Berliner Blau gemengt.

Das beste Constituens für mikroskopische Injectionsmassen ist übrigens eine wässerige Leimsolution. Denn erstens haben Wasser und wässerige Solutionen im Allgemeinen in den feinen Gefässchen, deren Wände immer mit Blut, also mit einer sehr wasserhaltigen Flüssigkeit in Berührung sind, einen weit geringeren Widerstand zu überwinden, als alle öligen und fetten Substanzen; zweitens aber gerinnt der Leim beim Erkalten, und man hat daher beim Anfertigen von Durchschnitten oder sonstigen Präparaten das Ausfliessen der Injectionsmasse aus den durchschnittenen Gefässen wenig oder gar nicht zu fürchten.

Zur Anfertigung der Leimsolution verdienen die Leimplätzchen den Vorzug, die man bei den Zuckerbäckern als sogenannte Gelatine kauft. Benutzt man einen unreinen gelblichen Leim, so ist es rathsam, die Auflösung erst durch ein Tuch zu giessen, um die darin schwebenden Unreinigkeiten abzusondern. Das Verhältniss des Leimes zum Wasser muss so sein, dass die Solution beim Erkalten eine nicht zu steife Gallerte bildet, was man dadurch prüft, dass man einen Topfen auf einen kalten Körper bringt. Sommer und Winter machen dabei einen Unterschied; die Gerinnbarkeit ist aber auch verschieden je nach der gebrauchten Leimsorte. Im Allgemeinen darf man annehmen, dass 1 Theil Leim auf 8 bis 10 Theile Wasser ein richtiges Verhältniss ist. Man braucht aber auch nicht alles zu der Solution erforderliche Wasser auf der Stelle zuzusetzen, vielmehr kann man erst eine concentrirte Leimsolution bereiten, unter welchem Namen weiterhin eine solche verstanden werden soll, die auf 4 Theile Wasser 1 Theil Leim enthält.

Beim Auflösen darf nur ein mässiger Wärmegrad in Anwendung kommen, und vor Allem hat man die Kochhitze zu vermeiden, weil dadurch die Gerinnbarkeit abnimmt.

Eine fertige Leimsolution lässt sich nur kurze Zeit an der Luft bewahren, ohne dass sie schimmelt und unbrauchbar wird. Will man eine grössere Menge in Vorrath bereiten, so giesst man die concentrirte Auflösung noch warm in eine Flasche und lässt sie bis zur Gerinnung erkalten. Giesst man jetzt einen Finger hoch Alkohol darauf und verstopft gut, so hält sich der Leim vortrefflich. Will man dann einmal injiciren, wird der Alkohol abgegossen und die Flasche kommt einige Zeit in warmes Wasser, bis der Leim wieder flüssig geworden ist.

Ein noch bequemeres Vehikel für Injectionsmassen haben wir in der Glycerine, die zuerst von Beale hierzu in Gebrauch gezogen worden ist. Vor dem Leime hat sie darin einen Vorzug, dass sie immer fertig ist, und dass weder die Injectionsmasse noch das zu injicirende Object vorher erwärmt werden müssen. Dem steht freilich gegenüber, dass die damit angesetzte Injectionsmasse nicht gerinnt, weshalb sie aus grösseren

Gefässen durchschnittener Organe wiederum ausfliesst. Für Injectionen des eigentlichen Capillarsystemes jedoch ist diese Injectionsmasse ganz geeignet. Die Glycerine braucht nur ein Drittel oder höchstens die Hälfte der gesammten Injectionsmasse zu betragen. Ein Zusatz von Alkohol und Methylalkohol, wozu Beale räth, ist unnöthig. — Der Zusatz von Glycerine zur Injectionsmasse hat eigentlich nur den Zweck, dass die Gefässe nicht zu stark zusammenschrumpfen und unscheinbar werden, wenn man die injicirten Theile weiterhin im getrockneten Zustande in Canadabalsam aufbewahrt. Zu einfachen anatomischen Untersuchungen, wenn man blos die Blutbahnen verfolgen und keine permannten mikroskopischen Präparate herstellen will, genügt auch ganz gut eine wässerige Masse mit einem darin suspendirten Färbemittel, wozu die meisten jetzt aufzuführenden passen.

79 Gross ist die Anzahl der Färbemittel, die man zu Injectionen empfohlen hat; aber nur wenige genügen allen Anforderungen, die an eine gute, dem Zwecke entsprechende färbende Substanz zu stellen sind.

Farbstoffe, die sich in Wasser vollständig lösen, wie Lackmus, Curcuma u. s. w., dringen zwar bis in die feinsten Gefässchen ein, treten aber auch sehr leicht durch die Wandungen derselben hindurch und färben so das ganze Gewebe. Ausserdem erleiden alle solche organische Farbstoffe leicht Umwandlungen, bald durch die Wärme, bald durchs Licht, und sie lassen sich nicht in wässeriger Solution aufbewahren. Besser eignen sich demnach solche Farbstoffe, deren Theilchen in der Flüssigkeit suspendirt bleiben und die sich in Wasser, in Alkohol, in Terpentinöl nicht lösen. Das sind die Gründe, weshalb mehrere metallische Präparate sich als die besten Färbemittel für Injectionsmassen bewähren.

Manche Färbemittel passen mehr bei auffallendem Lichte, andere mehr bei durchfallendem Lichte. Bei der Auswahl wird man einestheils durch das Organ, anderentheils durch die Form der Präparate bestimmt. Soll in dem nämlichen Präparate mehr denn Eine Gefässart injicirt werden, so hat man nur möglichst darauf zu sehen, blos solche Injectionsmassen zu verwenden, die sich für die nämliche Beleuchtung am besten eignen.

Die Quantität des zugesetzten Färbemittels lässt sich nicht genau angeben und kann auch durch die Umstände modificirt werden. Wenn daher weiterhin bestimmte Mengen aufgeführt werden, so soll damit nur ein Muster gegeben sein, von dem man nach Umständen auch abweichen kann. Die Uebung thut hierbei mehr als jede Vorschrift; man lernt bald jenen Grad der Färbung kennen, bei der die Masse die beste ist. Man kann aber auch, ehe man zur Injection schreitet, die gefärbte Flüssigkeit in einem Capillarröhrchen aufsteigen lassen, weil man dadurch eine richtige Ansicht gewinnt, wie sich die mit der Injectionsmasse gefüllten Ge-

Digitized by Google

fässe ansnehmen werden. Deshalb ist es nicht unpassend, eine Anzahl solcher Capillarröhrchen, wie man zur Aufbewahrung der Vaccine benutzt, in Bereitschaft zu halten.

Gelbe Injectionsmassen. — Ich kenne keine Snbstanz, die sich zu mikroskopischen Untersnchungen besser eignete, als das durch doppelte Zersetzung präcipitirte chromsanre Blei *), welches gewonnen wird, wenn man 100 Theile essigsaures Blei mit einer Auflösung von 52,4 Theilen chromsauren Kalis mischt. Zur Bequemlichkeit des Lesers theile ich im Nachfolgenden die Verhältnisse mit, in denen ich diese Substanzen anwende, und zwar nach dem Gewichte:

a. 4 Unzen $1\frac{1}{3}$ Drachme essigsaures Blei werden in so viel Wasser gelöst, dass das Ganze dem Volumen von 16 Unzen Wasser entspricht.

b. 2 Unzen 1 Drachme und 28 Gran doppelt chromsaures Kali werden in so viel Wasser gelöst, dass das Ganze das Volumen von 32 Unzen Wasser erreicht.

Zum Anfertigen der Injectionsmasse nimmt man nun 1 Maasstheil der Auflösung a, 2 Maasstheile der Anflösung b nnd 2 Maasstheile concentrirte Leimsolntion. Zuerst mischt man in einem besonderen Gefässe die beiden Salzlösungen, rührt die Mischnng ein Paar Augenblicke stark um und giesst sie dann zur Leimanflösung. Die angegebene Ordnung in der Vermischung ist nicht gleichgültig; werden die beiden Salzlösungen dem Leime unmittelbar zugesetzt, so findet man, dass die Präcipitation sehr ungenügend erfolgt. Die Mischung, worin das Präcipitat entsteht, darf aber anch nicht zu lange stehen bleiben, ehe sie dem Leime zugesetzt wird, weil sonst, wegen des Znsammenklebens der kleinen Molekeln, die Vertheilung der Farbetheilchen eine weniger feine wird.

Eine andere dnrchscheinende gelbe Masse hat Thiersch (*Der Epithelialkrebs*. Leipzig, 1865) angegeben. Man bereitet sich zunächst 3 verschiedene Solntionen: a, 1 Theil neutrales chromsaures Kali **) auf 11 Theile Wasser; b, 1 Theil salpetersaures Bleioxyd auf 11 Theile Wasser; c, 1 Theil Leim auf 2 Theile Wasser. Nun mengt man in einem Gefässe zwei Volumina der Bleisalzsolution mit 4 Volumina Leimsolntion und in einem anderen Gefässe 1 Volumen der Solntion des chromsauren

---

*) Das im Handel vorkommende Chromgelb ist häufig zu Injectionen benutzt worden, eignet sich aber wenig hierzn, da es wegen seiner bedeutenden Schwere in der Flüssigkeit rasch zu Boden sinkt. Doyère (*Comptes rendus*, 1841. 12. *Juillet*) empfahl nach einander zuerst eine Lösung von essigsaurem Blei und dann eine solche von doppelt ehromsaurem Kali einzuspritzen, wodurch in den Gefässen selbst das chromsaure Blei präcipitirt wird. Es lassen sich auf diesem Wege allerdings wohl die feinsten Gefässchen injiciren, sie erscheinen aber niemals gehörig gefüllt, weil das Präcipitat sich nicht gleichmässig absetzt, sondern körnig bleibt.

**) Irrthümlich nennt Frey (*Das Mikroskop*. S. 103) doppelt chromsaures Kali. Damit gelingt die Zubereitung der Injectionsmasse nicht.

Kalis mit 2 Volnmina Leimsolntion, erwärmt jedes der beiden Gefässe bis zn 30° C., giesst dann die Flüssigkeiten nnter fortwährendem Umrühren zusammen, und erwärmt weiter im Wasserbade bis zu 80° C. Jetzt filtrirt man dnrch Flanell, um das präcipitirte chromsaure Blei abzuscheiden. Die dnrchfiltrirte gelbe Flüssigkeit ist ganz dnrchscheinend. — Es hat mir indessen geschienen, dass diese Injectionsmasse für feine Capillarinjectionen nicht dunkel genug gefärbt ist, und dass sie in dieser Beziehnng wenigstens den nachher zu erwähnenden blauen nnd rothen durchscheinenden Injectionsmassen nachstebt. Auch ist der Färbestoff darin nicht suspendirt, sondern wirklich anfgelöst nnd scbwitzt leicht durch. Deshalb wird man nicht leicbt zu dieser Masse greifen, es sei denn, dass mehr denn zwei Gefässsysteme, jedes in besonderer Färbnng, injicirt werden sollen. Wir werden aber bald seben, dass diese Injectionsmasse aucb ganz gut mit anderen gemengt werden kann.

Znr kalten Injection kann auch das auf genannte Weise durch doppelte Zersetzung erhaltene nnd präcipitirte chromsaure Blei mit Glycerine vermischt werden; man nimmt gleichviel davon, wie sonst von der concentrirten Leimsolution. Indessen steht die Glycerine der Leimsolntion insofern nach, als das schwere chromsaure Blei sich dann rascher senkt und zusammenklumpt.

Entschieden besser ist es, wenn man zur kalten Injection **Gummigutt** als Färbemittel nimmt. Es wird entweder ein Stück Gummigutt mit Wasser auf einem Teller abgerieben, ganz so wie man Wasserfarben bereitet, und das wässerige Fluidum wird dann mit Glycerine gemengt; oder aber einer Mischung aus gleichen Theilen Glycerine und Wasser setzt man eine ganz gesättigte alkoholiscbe Solntion von Gnmmigutt zu. Beim Schütteln dieses Gemenges präcipitirt das Gummigutt als änsserst kleine Molekeln, die aber ziemlich das gleiche specifische Gewicht haben als die Flüssigkeit, nnd deshalb erhalten sie sich suspendirt darin. Braucht man eine ganz gesättigte Solution von Gummigutt, so darf man die Mischung stark damit färben, ohne dass man zu besorgen braucht, der Zusatz von Alkohol werde dem feineren Eindringen der Masse Eintrag thun. Sollte aber ja zuviel Alkobol zugesetzt sein, so giesst man die Masse in eine breite Schaale und lässt sie 24 Stunden an der Lnft steben, wo dann der Alkohol grösstentheils verdunstet ist.

Blaue Injectionsmassen. — Am besten benntzt man als blanes Färbemittel die Substanzen, welcbe bei der Zersetznng von Eisenoxydsalzen nnd Eisenoxydnlsalzen durch gelbes und rothes Blutlangensalz (Kaliumeisencyanür und Kalinmeisencyanid) entstehen, und die alle dunkelblau sicb darstellen, immer aber je nacb der Bereitung noch eine etwas verschiedenartige Zusammensetznng haben. Alle empfehlen sich schon dadurcb, dass bereits von geringen Mengen recht viele Flüssigkeit stark gefärbt wird, nicht minder aber auch dadurch, dass sie sich in einen Zu-

Digitized by Google

stand versetzen lassen, der zwar nicht eigentlich als Solution zu bezeichnen ist, einer solchen aber in der Gleichmässigkeit der Vertheilung ganz nahe steht, weshalb die damit injicirten Gefässe eine ganz gleichmässige Färbung besitzen, ohne dass etwas durchschwitzt. Die eisenblauen Injectionen passen aber nur für die Untersuchung bei durchfallendem Lichte.

Zur Herstellung einer guten blauen Injectionsmasse kann man ein von Schroeder van der Kolk schon seit einer Reihe von Jahren geübtes Verfahren in Anwendung bringen. In ähnlicher Weise, wie es vorhin von der gelben Injectionsmasse angegeben wurde, mischt man Solutionen von schwefelsaurem Eisenoxyd und von Kaliumeisencyanür mit einander, und zwar in solchem Verhältniss, dass durch doppelte Zersetzung Berlinerblau ausgeschieden wird, nach folgender Vorschrift:

a. $3\frac{1}{8}$ Unzen schwefelsaures Eisenoxydul werden in 20 bis 25 Unzen Wasser gelöst, und dann bei mässiger Wärme unter Zusatz von $4\frac{3}{4}$ Drachmen Schwefelsäure von 1,85 specif. Gewicht und unter Zufügung der erforderlichen Menge Salpetersäure in das Oxydsalz umgewandelt; dann aber setzt man noch so viel Wasser hinzu, dass das Ganze das Volumen von 40 Unzen Wasser erreicht.

b. 3 Unzen $6\frac{3}{4}$ Drachmen Kaliumeisencyanür werden in Wasser gelöst, bis das Ganze ein Volumen von 80 Unzen Wasser erreicht.

Zum Anfertigen der Injectionsmasse nimmt man nun 1 Maasstheil der Solution a, 2 Maasstheile der Solution b und 2 Maasstheile der concentrirten Leimauflösung. Beim Gebrauche derselben kommt noch der Umstand in Betracht, dass durch den Natrongehalt des Blutes eine stärkere oder schwächere Zersetzung und dadurch eine Entfärbung des Berlinerblau in den feinsten Gefässchen eintritt. Bringt man indessen das Injectionspräparat in eine Säure, wozu je nach den Umständen verdünnte Schwefelsäure, Essigsäure oder Weinsteinsäure genommen werden kann, dann tritt die frühere blaue Farbe wieder hervor. Man kann aber auch der Injectionsmasse gleich soviel Weinsteinsäure zusetzen, als nöthig ist, das kohlensaure Natron des Blutes zu sättigen.

Eben so gut kann auch statt des schwefelsauren Eisenoxyds Eisenchlorid (*Sesquichloruretum ferri*) genommen werden. Da dieses Salz für sich oder in Solution in den Apotheken vorräthig gehalten wird, somit stets erhältlich ist, so verdient es selbst den Vorzug vor dem schwefelsauren Eisenoxyd, dass immer erst aus dem Oxydulsalze bereitet wird. Auf die nämliche Menge Kaliumeisencyanür, als in der vorhergehenden Vorschrift angegeben wurde, braucht man von diesem Salze 3 Unzen $2\frac{2}{3}$ Drachmen.

Den gleichen Zweck kann man aber auch noch auf andere Weise erreichen. Setzt man einem Eisenoxydsalze oder der Solution von Eisenchlorid Kaliumeisencyanür in Uebermaass zu, so entsteht zunächst ein dun-

Digitized by Google

kelblauer Niederschlag, der zu Boden fällt und zusammenballt. Bringt man diesen auf ein Filtrum und wäscht man ihn, nachdem die Flüssigkeit durch ist, noch mit destillirtem Wasser aus, wodurch die in der Flüssigkeit gelöst gewesenen Salze fortgeschafft werden, dann lässt sich die blaue Masse zuletzt wieder so fein im Wasser zertheilen, dass die Flüssigkeit einer Solution ähnelt. Ist die Menge des zugesetzten Wassers zu gross, so dass die Injectionsmasse damit zu schwach gefärbt sein würde, so lässt man eine Partie Wasser verdunsten. Das ist das sogenannte lösliche Berlinerblau.

Auf die einfachste und bequemste Art bekommt man eine recht dunkele Halbsolution, wenn man Berlinerblau mit etwa dem dritten Theile Oxalsäure im Mörser zu einem feinen Pulver verreibt und unter fortgesetztem Reiben 8 bis 10 Gewichtstheile destillirtes Wasser zufügt. Nun lässt man das überflüssige Berlinerblau sich zu Boden setzen und giesst die klare Flüssigkeit ab, die man für sich aufbewahrt, bis man eine Injectionsmasse damit zu färben hat. Schon eine verhältnissmässig geringe Menge genügt, um eine grosse Quantität Leimsolution zu färben, die man nöthigenfalls noch mit Wasser verdünnt, so dass etwa 1 Theil Leim auf 8 Theile Wasser kommt.

Aber nicht alles Berlinerblau des Handels passt zu dieser Zubereitung, weil dasselbe nicht selten mit anderen wohlfeileren Substanzen verfälscht ist. Das Berlinerblau des Handels kann aber gereinigt werden, wenn man es in einem Mörser mit der gleichen Menge concentrirter Schwefelsäure zusammenreibt und dann so lange mit Wasser auswäscht, als sich noch Spuren von Säure in diesem zeigen. Uebrigens ist eine schwach saure Reaction auch nicht gerade hinderlich und somit braucht der Reinigungsprocess nicht gar zu lange ausgedehnt zu werden.

Gleich dem Berlinerblau, welches durch Niederschlagen von Eisenoxydsalzen mit gelbem Blutlaugensalz erhalten wird, kann auch das ähnliche blaue Präcipitat verwendet werden, welches erhalten wird, wenn man eine Solution eines Eisenoxydulsalzes, etwa des schwefelsauren Eisenoxyduls, mit rothem Blutlaugensalze oder Kaliumeisencyanid mischt. Es entstehen dabei ganz ähnliche Halbsolutionen, und die Suspension des blauen Farbestoffs wird durch einen Zusatz von Oxalsäure ebenfalls befördert. Die hierdurch erhaltenen Flüssigkeiten haben zwar eine dunkele Farbe und eignen sich ganz gut zum Färbemittel einer Injectionsmasse; die Farbe ist aber doch nicht so lebhaft, als wenn ein Eisenoxydsalz und Kaliumeisencyanür genommen wurde. Da nun die auf letztere Art gewonnene Farbe gleich tief ist, so kann man sich füglich mit ihr begnügen. Deshalb schweige ich auch von den Vorschriften, die von mehreren Seiten aufgestellt worden sind, und die sich noch gut vermehren liessen. Ich habe deren mehrere versucht und gefunden, dass sie alle hinsichtlich des feinen Eindringens einander etwa gleich stehen. Wegen der leich-

Digitized by Google

teren Herstellung gebe ich aber der mit Oxalsäure gewonnenen Masse den Vorzug.

Die nämlichen blau gefärbten Flüssigkeiten können auch zur kalten Injection benutzt werden, wenn man sie mit Wasser verdünnt, bis die Färbung in einem Capillarröhrchen durchscheinend genug ist, oder wenn man der Masse etwa ein Drittel Glycerine zusetzt.

Grüne Injectionsmassen. — Eine gute grüne, auf directe Art erhaltene Injectionsmasse ist mir nicht bekannt. Eine solche lässt sich dadurch herstellen, dass man eine von den beschriebenen gelben Massen nimmt und mit einer blauen mengt. Man hat es so in der Gewalt, verschiedene Nüancirungen heraus zu bringen. Solche Gemenge fallen aber niemals recht schön aus, nnd nur im Nothfall wird man zu ihnen greifen.

Rothe Injectionsmassen. — Zu Injectionen können folgende rothe durch Präcipitation erhaltene Farbestoffe in Betracht kommen: frisch bereitetes *Sulphur auratum antimonii*, basisches chromsaures Blei, welches erhalten wird, wenn man auf das neutrale gelbe Salz Aetzkali giesst, endlich Quecksilberjodid.

Wenn *Sulphur auratum antimonii* alsbald nach der Präcipitation als Färbemittel verwendet wird, so ist dies allerdings zulässig, weil der Goldschwefel sich sehr fein in der Flüssigkeit vertheilt. Nur wirkt das immer darin vorhandene Schwefelwasserstoffgas nachtheilig auf die messingenen Spritzen.

Basisch chromsaures Blei hat zwar eine sehr lebhafte Farbe; zu feinen Injectionen indessen ist es zu grobkörnig und zu schwer.

Geeigneter ist das Quecksilberjodid zur Aufnahme in eine Injectionsmasse nach folgender Vorschrift:

a. 1 Unze $5^1/_3$ Drachmen Quecksilberchlorid werden in Wasser gelöst, so dass das Ganze dem Volumen von 32 Unzen Wasser gleich kommt.

b. 2 Unzen Jodkalium werden in Wasser gelöst, so dass das Ganze dem Volumen von 8 Unzen Wasser gleich kommt.

Zur Injection werden dann 4 Maasstheile der Solution a, 1 Theil der Solution b und 4 Theile der concentrirten Leimsolution gemischt. Diese Masse hat allerdings eine sehr schöne Farbe und dringt auch weit vor; sie hat aber das Unangenehme, dass sie in den feinen Haargefässen die rothe Färbung einbüsst und gelb wird. Diese Neigung zur Farbenänderung ist sogar so gross, dass, wenn auch nur die geringste Menge Leim in dem gläsernen Gefässe, worin die beiden Solutionen gemischt werden, befindlich ist, kein rothes Präcipitat entsteht, sondern ein gelbes.

Keins der genannten rothen Färbemittel kann daher unbedingt empfohlen werden, und in den meisten Fällen, wo man roth injiciren will, verdienen sogar pulverförmige Farbstoffe den Vorzug. Unter diesen steht Zinnober oben an; nur muss er sehr fein zerrieben und dann noch ge-

schlemmt werden. So fein zertheilter chinesischer Zinnober wird auch zu feinen Oel- und Wasserfarben benutzt, und man kann ihn daher in den Handlungen mit Malerfarben bekommen. Eine unangenehme Eigenschaft des Zinnobers ist übrigens, dass er wegen des grossen specifischen Gewichtes sehr rasch zu Boden fällt. In dieser Beziehung ist man mit Goldschwefel besser daran, der erst gut ausgewaschen, getrocknet, wieder fein zerrieben und geschlemmt worden ist; er hat aber keine so lebhafte Farbe.

Folgende Mengenverhältnisse der beizufügenden Farbestoffe habe ich als zweckmässig erfunden. Man nimmt 1 Theil chinesischen Zinnober, reibt diesen mit 8 Theilen Wasser zusammen, lässt das Gemenge einige Augenblicke in einem Spitzglase stehen, bis etwa $^1/_3$ des Zinnobers niedergefallen ist, giesst dann das obenschwimmende ab und vereinigt es mit 8 Theilen concentrirter Leimsolution. Mit *Sulphur auratum* verfährt man in gleicher Weise; wegen seiner geringeren Schwere braucht man aber nicht so viel als vom Zinnober, es genügt z. B. 1 Theil auf 12 Theile Wasser und 12 Theile Leimauflösung. Unmittelbar vor dem Gebrauche werden solche Gemenge gut umgerührt, und die Spitze der Spritze wird beim Aufsaugen dicht unter die Oberfläche der Flüssigkeit gehalten, damit nur der feinste Theil des Farbestoffs aufgenommen wird.

Eine rothe Injectionsmasse, die besondere Vorzüge hat, ist die zuerst von Gerlach benutzte Auflösung des Karmins in Ammoniak. Sie dringt mit gleicher Feinheit ein als die oben beschriebenen gelben und blauen Injectionsmassen, und gleich den letzteren gestattet sie die Benutzung durchfallenden Lichtes. Bei der Zubereitung muss aber mit einer gewissen Umsicht verfahren werden. Wird der in Ammoniak gelöste Karmin einfach der Leimsolution zugesetzt, oder wird er behufs einer kalten Injection dem mit Glycerine gemengten Wasser zugefügt, so läuft man Gefahr, dass der Farbestoff durch die Gefässwandungen in das umgebende Gewebe ausschwitzt. Das kommt von dem im Uebermaass vorhandenen Ammoniak, und muss man daher dieses fortzuschaffen suchen. Gerlach lässt die Solution zu dem Ende mehrere Tage in einem nicht luftdicht schliessenden Gefässe stehen. Man kann aber auch das überschüssige Ammoniak nach Beale, nach Frey und Anderen durch Zusatz einer Säure wegschaffen, und ist es ziemlich gleichgültig, ob Essig- oder Salzsäure oder noch eine andere Säure dazu genommen wird. Die Säure muss indessen mit einer gewissen Behutsamkeit zugesetzt werden, wenn der benutzte Farbestoff nicht eine seiner schönsten Eigenschaften einbüssen soll, nämlich die vollkommen gleichmässige Vertheilung und das Durchscheinende, in welchen Beziehungen nur die oben beschriebenen blauen Injectionsmassen damit in Parallele gestellt werden können. Wird durch zu reichlichen Säurezusatz alles Ammoniak gesättigt, so präcipitirt der Karmin in kleinen Molekeln und die frühere schöne Purpurfarbe geht

Digitized by Google

in eine hellere Zinnoberfarbe über. Man muss es mithin so zu treffen suchen, dass nach dem Zusatze der Säure noch genug Ammoniak übrig ist und der Karmin als karminsaures Ammoniak in Lösung verbleibt. Um die erforderliche Säuremenge einigermaassen zu kennen, untersucht man vorher, wie viel zur Sättigung jener Ammoniakmenge, die zur Auflösung des Karmins verwendet wird, nöthig ist. Die Hälfte dieses Quantums Säure setzt man der Auflösung zu, und die andere Hälfte behält man in Reserve. Zeigt es sich nun, dass ein mit Wasser befeuchtetes und durch eine schwache Säure roth gefärbtes Lackmuspapier sich noch blau färbt, wenn es über die Karminsolution gehalten wird, so fährt man mit dem Zusatze der Säure fort, aber tropfenweise, so lange die aufsteigenden Dünste noch alkalisch reagiren. — Die Sättigungsprobe lässt sich auch in der Weise vornehmen, dass man einen Tropfen der Solution auf ein Stückchen Fliesspapier bringt und darauf sich ausbreiten lässt. So lange der Rand des sich ausbreitenden Tropfens bis zum Umfange hin roth erscheint, ist noch Karmin aufgelöst. — Wäre übrigens zu viel Säure zugesetzt worden, so kann man sich durch Zusatz eines Tropfens Ammoniak helfen. Bei einiger Uebung ermittelt man daher leicht den rechten Zeitpunkt, wo die Säure und das Ammoniak im besten Verhältnisse mit einander gemischt sind, dass eine gleichmässig gefärbte Masse herauskommt, worin höchstens ein ganz geringer Niederschlag entsteht.

Die Lösung des Karmins in Ammoniak eignet sich eben so gut zur Leiminjection als zur kalten Injection mit Wasser, dem aber wenigstens ein Drittel Glycerine zugesetzt sein muss. Da übrigens die Glycerine des Handels meistens etwas sauer reagirt, so ist es besser, die ammoniakalische Karminsolution wird erst mit Glycerine gemischt, ehe man die Säure zusetzt.

Mischt man die Karminsolution mit der Solution von Berlinerblau, so bekommt man Violett in verschiedenen Nüancen. Mit der durchscheinenden gelben Injectionsmasse von Thiersch (S. 123) giebt die Karminsolution ein lebhaftes Orange. Diese Injectionsmasse ist zwar nicht so fein als die ursprüngliche, aber doch für einzelne Fälle recht brauchbar.

Weisse Injectionsmassen. — Ungeachtet es viele durch doppelte Zersetzung entstehende weisse Präcipitate giebt, so ist es mir bisher doch nicht gelungen, eins ausfindig zu machen, welches alle Eigenschaften besässe, die in einem zu ganz feinen Injectionen bestimmten guten Färbemittel vereinigt sein müssen. Ich habe eine ziemliche Anzahl derselben nach einander durchprobirt, die ich, der Kürze halber, mit Stillschweigen übergehe. Nur das Präcipitat des kohlensauren Bleies hat ziemlich befriedigende Resultate geliefert. Als passende Verhältnisse ergaben sich folgende:

a. 4 Unzen $1^1/_3$ Drachme essigsaures Blei werden in Wasser gelöst, dass das Ganze dem Volumen von 16 Unzen Wasser gleich kommt.

b. 3 Unzen $1^1/_3$ Drachme kohlensaures Natron werden in Wasser gelöst, dass das Ganze auch wieder 16 Unzen Wasser gleich kommt.

Zur Injectionsmasse nimmt man 1 Maasstheil von der Solution a, 1 Theil von der Solution b und 2 Theile von der concentrirten Leimsolution. Sie dringt besser vor als eine Masse aus Leimsolution und Bleiweiss.

Bei manchen Injectionen bewährte sich eine Masse besser, welche Zinkoxyd enthielt, und zwar in jenen Verhältnissen, die für *Sulphur auratum* angegeben worden sind.

Frey (*Das Mikroskop*, S. 100) empfiehlt den schwefelsauren Baryt in folgender Zubereitung. Aus einer kalt gesättigten Lösung von etwa 4 bis 6 Unzen Chlorbaryum wird in einem Glascylinder durch vorsichtigen Zusatz von Schwefelsäure das betreffende Salz ausgefüllt, dann wird nach längerem Stehen fast das Ganze der wieder klar gewordenen Flüssigkeit abgegossen und der Rest mit dem am Boden abgesetzten schwefelsauren Baryt, in Form eines dicken Schlammes, etwa dem gleichen Volumen concentrirter Leimlösung zugesetzt.

Endlich hat auch Teichmann das Chlorsilber benutzt, indem er 3 Theilen salpetersauren Silbers in der Leimsolution 1 Theil Kochsalz zusetzt. Ich habe keine eigene Erfahrung über diese Injectionsmasse, bezweifele aber gar nicht, dass sie gut eindringt, da die Chlorsilbermolekeln sehr fein sind, und namentlich viel feiner als jene des schwefelsauren Baryts, die eigentlich krystallinisch sind. Indessen dürfte eine Chlorsilberinjection immer nur für wenige Fälle passen, weil diese Substanz am Lichte sich rasch schwärzt.

80 Hinsichtlich der Injection hat man noch manche allgemeine Regeln festzuhalten, die ich hier kurz zusammenstellen will.

1) Bevor man zur Injection eines Thieres oder eines Organs schreitet, muss man sich einen gehörigen Plan machen, wobei natürlich die Kenntniss des Verlaufs und der wechselseitigen Verbindungen der Gefässe eine unerlässliche Forderung ist. Wenn man nun weiss, dass eine in bestimmter Richtung fortbewegte Masse durch einen Verbindungsast seitlich zu einem Organe gelangen kann, das man für den Augenblick vielleicht noch nicht eingespritzt haben will, so wird man dem vorbeugen, indem man dergleichen Verbindungsäste vorher unterbindet. Bei sehr eindringlichen Substanzen muss man sogar noch weiter gehen und in Betracht ziehen, welche Bahn die Masse einschlagen kann, wenn sie durch das Capillarsystem hindurch ist und durch die grösseren Gefässe zurückkehrt. Ich berühre in dieser Beziehung nur einen mir selbst vorgekommenen Fall: mit der gelben oben beschriebenen Injectionsmasse sollte die hintere Extremität eines Kaninchens durch die *Arteria cruralis* gefüllt werden, und die Injectionsmasse kehrte durch das Capillarsystem und die

Digitized by Google

Venen des Fusses zurück, und füllte einen grossen Theil der Capillaren des Darms und selbst der Leber.

2) Eine Injection gelingt immer besser bei jungen als bei alten Individuen, besser bei mageren als bei fetten. Auch ist die Zeit unmittelbar nach dem Tode keineswegs die günstigste zu einer Injection, sondern man schreitet lieber etwas später dazu, wenn die allgemeine Starre der Theile einer beginnenden Erschlaffung Platz gemacht hat. Dieser Zeitpunkt tritt bald früher, bald später ein, was hauptsächlich von der Temperatur der umgebenden Luft abhängt: im Sommer injicirt man nach einigen Stunden, während man im Winter oftmals vier Tage oder selbst noch später nach dem Tode noch mit gutem Erfolge injiciren kann.

3) Am leichtesten und sichersten ist immer die Injection durch die Arterien, wegen der grösseren Dicke ihrer Wandungen. Kommt es daher nur auf Anfüllung des eigentlichen Capillarsystems an, so wählt man am besten die Arterien statt der weit zarteren Venen. Zudem haben die Venen in der Mehrzahl der Organe Klappen, wodurch die Cappillaranfüllung behindert wird. Fehlen jedoch die Klappen, wie in den Venen der Eingeweide, dann kann man die beiderlei Gefässsysteme nach einander injiciren, und das ist nöthig, wenn man die secundären, bereits mikroskopischen Netze von Venen und Arterien kennen lernen will, aus denen das gemeinschaftliche Haargefässnetz entspringt. Bei dieser Veneninjection muss man bemüht sein, bevor man die Kanüle der Spritze ins Gefäss einsetzt, das geronnene Blut in dem Gefässe und in dessen Hauptästen mit Vorsicht zu entfernen, indem man es durch sanften Druck mit dem Scalpellhefte aus der gemachten Oeffnung heraustreibt. Enthält das Organ unverkennbar sehr viel Blut, so ist es manchmal räthlich, erst warmes Wasser durch die Arterie so einzuspritzen, dass es durch die Vene wiederum ausfliesst und das Blut mit fortnimmt. Zu dieser Wasserinjection darf man aber nur dann seine Zuflucht nehmen, wenn sie wirklich erforderlich ist: die feineren Gefässchen leiden stets durch dieselbe, und es entsteht deshalb nachher leichter ein Extravasat.

4) Sind die Kanülen auf gehörige Weise in die Gefässe eingeführt und durch einen Faden, den man mittelst einer krummen Nadel unter dem Gefässe durchführt, befestigt worden, und macht man eine Leiminjection, so kommt der zu injicirende Theil in Wasser von 36° bis 40° C. und die Einspritzung nimmt man nicht eher vor, als bis diese Temperatur bis zu den innersten Theilen sich hat ausbreiten können.

5) Die mit Leim bereitete Injectionsmasse muss so weit erwärmt werden, dass sie leicht flüssig ist. Dieser Wärmegrad kann jenen des ebengenannten Wasserbades noch etwas übertreffen, er darf aber nicht den Gerinnungspunkt des Eiweisses (50° C.) erreichen.

6) Beim Füllen der Spritze durch Aufsaugen der Injectionsmasse hat man Sorge zu tragen, dass keine Luft mit eindringt. Am besten wird

Digitized by Google

dies verhindert, wenn man, bevor die Spitze der Spritze unter die Oberfläche der Injectionsmasse kommt, den Stempel ganz bis auf den Boden der Spritze drückt. Benutzt man aber statt der Spritze eine von den oben beschriebenen Vorrichtungen, so lässt man zunächst durch Oeffnen des Hahns etwas von der Injectionsmasse durch die Kautschukröhre und die Glasspitze abfliessen, so dass diese ganz gefüllt sind. Ja es ist selbst räthlich, den Hahn so weit geöffnet zu lassen, dass die Masse langsam heraus tröpfelt, während die Glasspitze in das Kautschukröhrchen der Kanüle eingeschoben wird.

7) Ist so die Spitze des Apparates oder der gefüllten Spritze in die Oeffnung der Kanüle eingesetzt, so muss nun ein langsamer stetiger Druck in Wirksamkeit kommen. In dieser Beziehung haben gerade Vorrichtungen, bei denen der Druck durch eine Quecksilbersäule oder durch comprimirte Luft ausgeübt wird, vor der Spritze den Vorzug. Ein sehr starker Widerstand kann von einer Verstopfung der Kanüle herrühren. Um das zu untersuchen, zieht man die Spitze des Injectionsapparates aus der Kanüle und schiebt einen Metalldraht hinein, oder bei feineren Kanülen eine Schweinsborste, und sucht durch Hin- und Herschieben das Hinderniss zu entfernen. Manchmal aber dringt auch die Injectionsmasse deshalb nicht vor, weil die Injection in der zur Fortbewegung günstigsten Richtung, in jener nämlich, welche der Blutstrom während des Lebens einhielt, nicht statt hat; oder die Oeffnung der Kanüle drückt gegen die Gefässwand; oder endlich die Gefässe sind verstopft, weil darüber liegende Theile einen Druck darauf ausüben. Das letzte kommt am leichtesten an häutigen Gebilden vor, wenn man z. B. die Darmwände durch die Mesenterialgefässe injiciren will. Man muss dergleichen Objecte in Wasser bringen und sanft darin herum bewegen, wobei die häutigen Theile selbst in Bewegung kommen, oder man muss diese letzteren aufheben und anders legen. Das Wasser übt in dergleichen Fällen auch einen leichten Gegendruck aus, und man hat deshalb Extravasate weniger zu besorgen. Nimmt man eine Leimmasse, so liegen die zu injicirenden Objecte schon von selbst in Wasser; in den erwähnten Fällen ist es aber auch bei kalter Injection gut, die Theile in Wasser zu legen.

8) Es lässt sich nicht gut mit Bestimmtheit angeben, wie lange die Injection fortgesetzt werden muss. Es gehört einige Uebung dazu, soll der Moment, wo man aufhören muss, mit einiger Zuverlässigkeit bestimmt werden. Aber auch der Geübteste kann darin einen Missgriff thun, und erst bei der späteren Untersuchung zeigt es sich, dass die Gefässe nicht vollständig gefüllt sind, weil die Injection zu früh abgebrochen wurde, oder dass dieselbe im Gegentheil zu lange fortgesetzt wurde, wodurch die Wandungen der feineren Gefässchen zerrissen, die Masse ausfloss und in dem Gewebe sich ausbreitete.

Digitized by Google

Bei den leicht flüssigen und sehr eindringenden Massen, deren oben gedacht wurde, ist es in der Regel nicht rathsam, die Injection so lange fortzusetzen, bis man einen starken Widerstand findet; denn meistens ist es dann schon znm Extravasate gekommen. Es ist deshalb besser, man nimmt nur auf die sichtbaren Wirknngen der Injection Rücksicht, bei Injection durch die Carotis z. B. auf die Färbnng der Lippen, der Conjnnctiva n. s. w. Bemerkt man bei einer arteriellen Injection, dass die Masse durch die Venen zurückkommt, so versteht es sich von selbst, dass die Injection nicht weiter fortgesetzt werden darf.

9) Nach jeder Injection muss das injicirte Gefäss unterbnnden werden, oder man mnss die in dem Gefässe steckende Kanüle mit einem Korke verstopfen, nm das Ausfliessen der Injectionsmasse zn verhüten. Hat man eine Glaskanüle mit Kautschukröhrchen (S. 115) in Gebrauch gezogen, so schiebt man nach beendigter Injection ein dünnes Glasröhrchen ein, das vorher in der Flamme in ein kegelförmig auslaufendes geschlossenes Ende ansgezogen wurde. Man muss daher mehrere solche gläserne Stopfen in Vorrath haben.

Ist die Injection mit einer Leimmasse beendigt, dann wird der gut injicirte Theil mit kaltem Wasser gereinigt und hierauf in schwachen Weingeist gelegt, worin er mindestens ein Paar Stunden, am liebsten aber bis zum folgenden Tage liegen bleibt, damit der Leim gehörig erstarrt, ehe man zur Untersnchung schreitet. War dagegen eine kalte Masse injicirt worden, so kann man alsbald zur Untersnchnng schreiten.

Für die Untersuchung injicirter Organe gilt es im Allgemeinen als 81
Regel, dass die wahre Vertheilung des Gefässsystemes und das Verhalten der Gefässe zn den übrigen zusammensetzenden Theilen des Gewebes nnr erkennbar ist, so lange das Präparat sich im feuchten Zustande befindet. Durchs Eintrocknen schrumpfen alle Theile zusammen, nnd Gefässe, die nrsprünglich zwei oder noch mehr über einander liegenden Schichten angehörten, scheinen alsdann in einer einzigen Schichte zu liegen. Mit dem Trocknen ist aber der Vortheil verbunden, dass man späterhin die Präparate in Terpentinöl oder Canadabalsam bringen kann, worin das nmgebende Gewebe dnrchsichtig wird, weshalb dann manche Einzelnheiten der Gefässvertheilnng viel deutlicher zum Vorschein kommen als vorher, wo das Präparat noch im feuchten Zustande befindlich war. Meistens ist es daher anzuempfehlen, wenn man die Präparate nicht blos im fenchten, sondern anch im trockenen Zustande nntersucht. Auch nach der Besonderheit des Organes richtet sich einigermaassen die zu wählende Methode. An manchen Organen, z. B. an der Leber, an den Nieren, kann man die Gefässvertheilnng an getrockneten Durchschnitten der Oberfläche nicht nnr, sondern anch der tieferen Theile genan stndiren, ohne dass man Gefahr läuft, durch die genannte Ursache irregeführt zu werden. Dagegen

Digitized by Google

liefern die trockenen Präparate von anderen Organen nur ein ganz ungenügendes Bild. Die Schleimhaut des Magens und der Gedärme z. B. mit den Flocken, Falten und Drüsen wird durchs Trocknen so sehr verändert, dass man, wenn man blos solche Präparate kennte, sich eine sehr unvollkommene Vorstellung vom Baue dieser Theile machen würde*).

Die mancherlei Injectionsmassen, von denen weiter oben die Rede war, lassen sich nicht blos dazu verwenden, die Blutgefässe durch Injection zu füllen, man kann damit auch andere Räume und Canäle injiciren, die im gewöhnlichen Zustande nur eine Flüssigkeit oder Luft enthalten. Man muss dann aber zu einem Beihülfsmittel greifen, damit die Flüssigkeit oder die Luft vor der Injectionsmasse weichen. So gelang Lionel Beale die Injection der feinen Gallencanäle in der Leber dadurch, dass die Leber zuerst durch die Pfortader mit warmem Wasser ausgespritzt wurde, wodurch ein Druck entsteht und die noch in den Canälen enthaltene Galle nach aussen getrieben wird, worauf er dann die Leber während 24 Stunden zwischen Tüchern einem Drucke unterwarf, in Folge dessen das Wasser wieder ausfloss und die Gallencanälchen leer wurden. Ist aber auch dieses Hülfsmittel nicht schlechthin verwerflich, so lehrt doch gerade das erwähnte Beispiel, dass man vorsichtig damit umgehen muss. Denn Mac Gillavry und eben so Hyrtl haben ganz andere und wie es scheint richtigere Resultate erhalten, als sie an Lebern, die keiner solchen gewaltsamen Behandlung unterworfen waren, vorsichtig einfache Injectionen ausführten.

Die Bronchien und die Lungenbläschen lassen sich ebenfalls ausspritzen, wenn die Luft vorher soviel als möglich durch einen gleichmässig ausgeübten Druck entfernt wurde. Da aber die Canäle und die Höhlen hier verhältnissmässig gross sind, so eignet sich weisses Wachs besser zur Injectionsmasse als die Leimsolution.

Die ammoniakalische Karminsolution ist von Gerlach auch benutzt worden, um die Höhlen der Knochenzellen mit einem Farbstoffe zu füllen. Er treibt nämlich die Solution mit grosser Kraft in die Höhle eines Röhrenknochens, wobei natürlich die Oeffnung, durch welche injicirt wird, gehörig geschlossen sein muss. Durch dieses Verfahren kann der thatsächliche Beweis geliefert werden, dass die Höhlen der Knochenzellen und deren Strahlen mit den Havers'schen Canälchen und diese wiederum mit der Markhöhle zusammenhängen.

Indessen lassen sich auf diesem Wege nur wenige Knochenzellen

---

*) Viele von den in künstlerischer Hinsicht vortrefflichen Abbildungen bei Berres (*Anatomie der mikroskopischen Gebilde des menschlichen Körpers*), welche alle nach getrockneten Präparaten angefertigt wurden, sind aus diesem Grunde ganz unbrauchbar. Nur wer durch eigene Untersuchung weiss, wie diese Präparate im frischen Zustande sich ausnehmen, vermag in diesem Wirrwarr von Gefässen einigermaassen den Faden zu finden.

und zwischendurch auch wohl einige Ausläufer derselben füllen, weil die darin enthaltene Luft erst zurückgedrängt werden muss und dabei zusammengepresst wird. Besser entspricht dem Zwecke eine Methode, deren ich mich schon seit einigen Jahren bediene und die auch noch weitere Anwendnng findet; denn auf die gleiche Weise kann man alle mit Luft gefüllte Höhlungen in Knochen und Zähnen, die Tracheen der Insecten, die Intercellularräume der Pflanzen u. s. w. mit einer gefärbten Flüssigkeit anfüllen. In der Hauptsache läuft dieselbe darauf hinaus, dass das zu injicirende Object in einer gefärbten Flüssigkeit unter die Glocke der Luftpumpe kommt: wird dann die Luft ausgepumpt und lässt man nachher wieder neue Luft eintreten, so dringt die gefärbte Flüssigkeit in die früher mit Luft gefüllten Höhlungen. Es bedarf aber einiger Vorkehrungen, wenn dieses Verfahren Erfolg haben soll. Zuvörderst muss die angewandte Flüssigkeit eine recht dunkele Farbe haben, weil die Strahlen der Knochenzellen, die Ausläufer der Zahnröhrchen, die letzten Verästelungen der Insectentracheen viel dünner nnd feiner sind als die feinsten Capillaren, dnrch welche das Blnt strömt, eine gefärbte Flüssigkeit daher, welche für die Capillaren noch ganz gut passt, für jene Canälchen viel zu blass ist. Der Farbstoff ferner muss im aufgelösten Zustande in der Flüssigkeit sich befinden, denn auch die kleinsten darin suspendirten Molekeln würden die feinen Canälchen verstopfen. Sodann muss die Flüssigkeit derartig sein, dass sie zwar in die Canälchen eindringt, nicht aber die Zwischensubstanz derselben imbibirt. Endlich muss darauf gesehen werden, dass soviel Luft als möglich aus den Canälchen fortgeschafft wird.

Von den gefärbten Flüssigkeiten habe ich auch die ammoniakalische Karminsolution und die wässerige Lösung des Berlinerblau in Oxalsäure geprüft. Wenngleich beide vor allen anderen mir bekannten farbigen Solutionen durch eine sehr dunkele Färbung sich auszeichnen, die auch noch in den dünnsten Canälchen erkennbar ist, so sind sie mir doch unpassend vorgekommen, weil sie bei dem nothwendiger Weise längeren Verweilen der Objecte in den Flüssigkeiten der dritten Forderung nicht entsprechen und die Zwischensubstanz der Canälchen ebenfalls färben. Wahrscheinlich ist dies mit allen wässerigen Flüssigkeiten in mehr oder weniger hohem Grade der Fall.

Dadurch wird das vorgesteckte Ziel recht gut erreicht durch einen Auszug der Alkannawnrzel mit Terpentinöl. Um diesen aber dunkel genng zu haben, genügt es nicht, ein Uebermaass von fein zerstossener Alkannawurzel mit Terpentinöl auszuziehen, man muss auch noch den filtrirten Auszng im Sand- oder Wasserbade eindicken. Ein so gefärbtes Terpentinöl dringt nnr in die offenen Höhlen ein, ohne das übrige Gewebe zu färben.

Die vollständige Entfernung der Luft aus den feinen Canälchen erlangt man nicht so leicht. Knochen- und Zahnschliffe standen in einer

solchen Flüssigkeit unter einem Luftdrucke von nur 4 Millimeter und blieben drei Tage lang darin; gleichwohl enthielten sie bei der Untersuchung noch Luft. Blieben sie indessen vier bis fünf Tage darin, so war alle Luft ausgetrieben, und beim Oeffnen des Hahns wurde dieselbe durch gefärbte Flüssigkeit ersetzt.

Wenn nun auch auf diesem Wege eine vollständige Füllung der Höhlen und Canäle möglich ist, so sind doch solche Präparate mit einer Unvollkommenheit behaftet, welche bei jenen nach Gerlach's Methode angefertigten sich nicht vorfindet: sie lassen sich nicht in Canadabalsam aufbewahren, ohne sich alsbald darin zu entfärben.

Man vergesse aber nicht, dass die Anfüllung mit einer gefärbten Flüssigkeit zwar dazu dienen kann, das Vorhandensein einer Höhle darzuthun, nicht aber die feinen Canälchen sichtbar zu machen; diese erkennt man am leichtesten, wenn sie mit Luft gefüllt sind, weil letztere bei durchfallendem Lichte sich schwarz darstellt. Dadurch hat die Luft einen Vorzug vor jedem anderen färbenden Stoffe, zumal wenn die schwarze Färbung noch dadurch gehoben wird, dass man das Object in erwärmten und dann wieder erkalteten Canadabalsam bringt.

82 Jene Methoden, wodurch man die Blutbahnen sichtbar macht, kann man bei Pflanzen nicht in Anwendung bringen, weil die Ernährungsflüssigkeit sich bei ihnen in der Regel nicht frei in Gefässen oder Canälen bewegt, sondern durch endosmotische Wirkung aus einer Zelle in die andere übertritt. Freilich gelingt es, durch Injection oder capillare Aufsaugung die Gefässe in durchschnittenen Pflanzentheilen mit gefärbten Flüssigkeiten zu füllen; man hat aber so wenig Grund, hieraus zu schliessen, dass dies die natürlichen Saftwege in der lebenden Pflanze sind, als man die Insectentracheen für Blutgefässe zu halten berechtigt ist, weil dieselben unter ähnlichen Umständen ebenfalls Flüssigkeit aufnehmen. Nur auf eine Weise lässt sich mit Zuverlässigkeit der Weg angeben, den die Säfte während des Lebens verfolgen: eine unverletzte Pflanze, die schon seit geraumer Zeit in einem Blumentopfe stand, deren Wurzelfasern daher insgesammt als ganz unbeschädigt anzunehmen sind, wird mit einer Flüssigkeit begossen, deren Anwesenheit in der Pflanze sich weiterhin auf die eine oder die andere Weise erkennen lässt. Wasserpflanzen kann man natürlich sogleich in eine solche Flüssigkeit setzen.

Man hat hierbei keine grosse Auswahl. Bis jetzt hat es nicht gelingen wollen, gefärbte Flüssigkeiten unmittelbar in den Wurzeln aufsteigen zu machen, selbst nicht solche, deren Farbstoff in Wasser aufgelöst ist, wie Auszüge von Lackmus, von Campescheholz u. s. w. Wird der Farbstoff überhaupt aufgenommen, so erleidet er in solchen Fällen eine Zersetzung, denn die Säfte in der Pflanze bleiben gleich wie früher un-

Digitized by Google

gefärbt. Bessern Erfolg hat man mit manchen Salzen, deren verdünnte Auflösungen zum Begiessen genommen werden, und deren Anwesenheit in den Geweben sich dann durch passende Reagentien nachweisen lässt. Am besten eignet sich dazu das blausaure Eisenoxydulkali, welches früher von Hönninger (*Bot. Zeitung* 1843, S. 200), später von Hoffmann (*Ebend.* 1848, S. 377. 1850, S. 17) auf diese Weise angewendet worden ist, und das auch ich bei einer Anzahl Pflanzen mit gutem Erfolge versucht habe. Es bedarf aber einiger Vorsichtsmaassregeln, wenn man damit zum Ziele kommen will.

Erstens darf man aus Gründen, die jeder mit der Pflanzenphysiologie nicht ganz Unbekannte von selbst einsehen wird, nur eine sehr verdünnte Auflösung nehmen. Ich nehme 1 Theil Salz auf 400 Theile Wasser.

Zweitens muss die Pflanze hinlängliche Zeit haben, die Flüssigkeit aufzunehmen. In der Regel sind 4 bis 6 Tage ausreichend. Am instructivsten sind dann jene Theile, welche noch wenig von der Flüssigkeit durchdrungen sind; an ihnen kann man am besten erkennen, welche Wege der Saft vorzugsweise wählt.

Drittens wird man finden, dass dieses Salz keineswegs von allen Pflanzen unverändert aufgenommen wird und sich durch Eisenoxydsalze darin nachweisen lässt, ungeachtet man aus den braunen Flecken auf den Blättern und aus anderen pathologischen Erscheinungen mit Bestimmtheit schliessen möchte, dass es in die Gewebe eingedrungen ist und darin chemische Veränderungen bewirkt hat. Wenn daher in einer Pflanze oder in einem Pflanzentheile die blaue Reaction nicht eintritt, so darf daraus nur geschlossen werden, entweder dass das Salz gar nicht eindrang, oder dass es zwar eingedrungen ist, aber eine chemische Veränderung erlitten hat, wodurch es die Eigenschaft verlor, mit Eisenoxydsalzen Berlinerblau zu bilden. Ich könnte dafür mehrere Beweise beibringen, will jedoch nicht in Einzelnheiten eintreten.

Was dann viertens das Verfahren anbelangt, wie man die Anwesenheit des blausauren Eisenoxydulkali durch die Solution eines Eisenoxydsalzes (schwefelsaures Eisenoxyd oder Eisenchlorid) nachweist, so stehen zwei Mittel zu Gebote, die ihre besonderen Vorzüge und Nachtheile haben. Entweder macht man Durchschnitte der Pflanze und befeuchtet diese mit der Eisensolution, oder man bringt den Pflanzentheil in eine verdünnte Solution des Eisensalzes und lässt dieselbe capillär durch die Gefässe aufsaugen, da es natürlich nicht möglich ist, sie durch die Wurzeln der unverletzten Pflanze aufsaugen zu lassen. Beim ersteren Verfahren hat man daran zu denken, dass die aus dem frischen Schnitte kommende Flüssigkeit auch in Räume eindringen kann, worin sich im natürlichen Zustande der Pflanzengewebe in der Regel gar kein Saft befindet, z. B. in die Intercellularräume und in die Gefässe. Beim zweiten Verfahren dringt die Eisensolution aus den Gefässen allmälig in die an-

grenzenden Zellen, was indessen immer einige Zeit verlangt. Ist daher der Pflanzentheil nicht zu lange eingetaucht gewesen, so wird nur der Inhalt jener Holzzellen gefärbt erscheinen, welche unmittelbar um die Gefässe herum liegen, und überdies wird auch die Flüssigkeit in vielen Gefässen blau gefärbt sein, weil der Saft aus den Holzzellen dahin übergegangen ist. Macht man aber dort, wo das Eisenoxyd zuletzt eingedrungen ist, Längsdurchschnitte, so findet man die Gefässe mit der gelbgefärbten Flüssigkeit gefüllt und die benachbarten Zellen erscheinen blau. Es genüge aber, hier auf die verschiedenen Anlässe zu Irrthümern aufmerksam gemacht zu haben; die Anwendung auf den einzelnen Fall darf ich dem Leser überlassen.

Einen Umstand jedoch, der irre führen kann, will ich hier nicht mit Stillschweigen übergehen, das ist die Anwesenheit der das Eisen blau- oder schwarzfärbenden Gerbsäure und der Gallussäure. Deren Färbung durch Eisensalze hat in vielen Pflanzen, zumal bei durchfallendem Lichte, grosse Aehnlichkeit mit dem Berlinerblau. Darüber kann man sich aber bald Gewissheit verschaffen, wenn man das Präparat mit einer Säure behandelt, am besten mit Salpetersäure und Oxalsäure. Gerbsaures und gallussaures Eisenoxyd werden dadurch alsbald entfärbt, nicht aber Berlinerblau.

Die Aufbewahrung solcher gefärbten Pflanzenpräparate geschieht am besten so, dass man sie vorsichtig trocknet, das getrocknete Object dann mit Alkohol behandelt, um die Luft zu entfernen, und es endlich in Canadabalsam aufhebt.

83 Organische Häute oder Fasern besitzen nicht selten einen so hohen Grad von Durchsichtigkeit, dass sie, wenn sie zugleich farblos sind, kaum im Gesichtsfelde des Mikroskopes sich zu erkennen geben. Wenn ihr Brechungsvermögen jenem der umgebenden Flüssigkeit ziemlich gleichkommt, so geht auch die Sichtbarkeit der Ränder oder etwaiger Falten an den Membranen verloren, weil die Lichtstrahlen zu schwach von ihrer Bahn abgelenkt werden. In einem solchen Falle kann man die Sichtbarkeit durch färbende Mittel erhöhen. Am vortheilhaftesten bewährt sich hier Jodtinctur, wodurch alle organischen Membranen, namentlich die eiweisshaltigen, sich braungelb färben. Schultz hat schon vor vielen Jahren dargethan, dass die von Wasserzusatz ganz durchsichtig gewordenen Blutkörperchen durch Zufügung von Jodtinctur wiederum sichtbar werden. Auch ganz feine Cilien werden dadurch recht deutlich.

Nicht so stark färbend wirkt die Chromsäure. Wird sie aber in einem nicht zu sehr verdünnten Zustande angewendet, so bewährt sie sich auch oftmals recht gut bei thierischen Substanzen; sie wirkt nicht blos färbend auf diese ein, sondern macht auch deren Ränder dunkler durch Zunahme des Brechungsindex.

Digitized by Google

In anderer Weise wirkt die Gerbsäure. Alle Häute, worin leimgebende Substanz enthalten ist, werden dadurch getrübt und somit besser sichtbar. Vielfach habe ich bei der Untersuchung thierischer Gewebe diese Säure (1 Theil auf 12 Theile Wasser) mit Erfolg in Anwendung gezogen.

Für besondere Fälle kann man noch andere färbende Mittel benutzen. Untersucht man Knochen- und Zahnschliffe, so ist es gut, wenn man dieselben zuerst ein Paar Stunden in einer Solution von Blutlaugensalz liegen lässt, dann mit Wasser gut abspült und hierauf mit einer Eisenoxydsalzlösung befeuchtet. Die blaue Farbe tritt dann am intensivsten an den Punkten hervor, wo die zuerst genannte Flüssigkeit am stärksten eingedrungen ist, d. h. in den geöffneten Knochenzellen und an den Rändern der concentrischen Knochenlamellen.

Man kann ferner bei vielen kleinen Wasserthierchen, bei den Räderthieren und Infusorien, durch Färbestoffe, die aber dann aus kleinen Molekeln bestehen müssen, die Wege nachweisen, welche von den Ernährungsmaterien durchlaufen werden. Gewöhnliche Wasserfarben, namentlich Karmin, Indigo oder chinesische Tinte, mit dem Wasser abgerieben, worin sich die Thierchen befinden, sind hierzu am meisten geeignet.

Es sind ferner noch die verschiedenen Tinctionsmethoden zu erwähnen, die wesentlich darauf abzielen, dass gewisse Theile eines Objectes, die vor anderen einen in Auflösung befindlichen Farbstoff gern aufnehmen, besser sichtbar werden. Hierher gehört zunächst die durch Gerlach eingeführte ammoniakalische Karminsolution. Die Intercellularsubstanz wird dadurch wenig oder gar nicht gefärbt, die Zellen aber nehmen den Farbstoff auf, und am stärksten färben sich die Kerne und alle denselben entsprechenden Gebilde. Am deutlichsten sieht man dies an dünnen Knorpelschnitten. Besonders aber scheint dieses Mittel geeignet, den Bau der Centraltheile des Nervensystems aufzuhellen, da sich die Ganglienzellen und deren Ausläufer damit färben, deren Verlauf man also dadurch am besten kennen lernen kann. Aber auch zur Aufhellung der Structur der peripherischen Nervenenden kann es nützen, weil die Axencylinder sich am stärksten dadurch färben.

Gerlach (*Mikroskopische Studien aus dem Gebiete der menschlichen Morphologie.* Erlangen 1858, S. 3) empfiehlt eine sehr verdünnte Auflösung, nämlich auf 1 Unze Wasser 2 bis 3 Tropfen der concentrirten ammoniakalischen Karminsolution; darin soll man die Durchschnitte 2 bis 3 Tage liegen lassen. Man kann auch die unverdünnte Solution nehmen, lässt aber dann die zu färbenden Gewebe blos einige Secunden darin und spült sie hierauf mit Wasser ab, dem ein Paar Tropfen Essigsäure zugesetzt wurden. Oder hätte man vom Wasser einen schädlichen Einfluss auf das Gewebe zu fürchten, so kann man nach Beale Glycerine nehmen,

Digitized by Google

die ebenfalls mit ein Paar Tropfen Essigsäure versetzt wird. Bemerken muss ich übrigens, dass bei längerer Einwirkung der Karminsolution auch die Wandungen der Gefässe, der Stämme sowohl als der Capillaren, eine rothe Färbung annehmen, man sich also vor Täuschung zu hüten hat.

Ein etwas anderes Verfahren ist von Thiersch und von Frey (*Das Mikroskop*, S. 90) empfohlen worden. Für die rothe Färbung werden gleiche Mengen Karmin und Ammoniak mit 3 Theilen destillirten Wassers gemischt und die Auflösung wird filtrirt. Sodann löst man 1 Theil Oxalsäure in 22 Theilen Wasser. Nun mischt man 1 Theil der ersten Solution mit 8 Theilen der zweiten, setzt 12 Theile absoluten Alkohol zu und filtrirt. Ist die filtrirte Flüssigkeit nicht karminroth, sondern orangeroth, so wird noch etwas Ammoniak zugetröpfelt. Darin färben sich nach Thiersch die Gewebe binnen 2 bis 3 Minuten ganz gleichmässig, ohne aufzuquellen, und ist dies erfolgt, so spült man sie mit Alkohol von 80 Proc. ab. Ist die Färbung zu dunkel gerathen, oder ist sie zu sehr diffus geworden, so wird das Präparat mit einer alkoholischen Lösung von Oxalsäure oder Boraxsäure ausgelaugt.

Eine lillafarbige Karminlösung, die dem Zwecke ganz eben so gut entspricht, nur etwas langsamer färbt, erhielt Thiersch, wenn er 1 Theil Karmin mit 4 Theilen Borax in 56 Theilen Wasser löste.

Beale nimmt zur Karminsolution 10 Gran Karmin, $1/2$ Drachme Aetzammoniak, 2 Unzen Glycerine, 2 Unzen destillirtes Wasser und $1/2$ Unze Alkohol. Das feingeriebene Karmin wird in einem Reagenzgläschen mit dem Ammoniak gekocht und zur Auflösung gebracht. Ist nach einer Stunde aus der erkalteten Solution das überschüssige Ammoniak verdunstet, so setzt man die Glycerine, das Wasser und den Alkohol zu und filtrirt.

Neuerer Zeit hat man auch Anilinfarbstoffe mit Erfolg zur Tinction thierischer Gewebe verwendet. Eine rothe gleichmässige Färbung bekommt man nach Frey (*Das Mikroskop*, S. 91), wenn man 1 Centigramm Fuchsin in 15 Cubikcentimeter Wasser auflöst und 20 bis 25 Tropfen Alkohol zusetzt. Zur blauen Färbung empfiehlt Frey 2 Centigramm lösliches Anilinblau, welches durch Behandlung des gewöhnlichen Anilinblau mit Schwefelsäure erhalten wird, in 25 Cubikcentimeter Wasser zu lösen und 20 bis 25 Tropfen Alkohol zuzusetzen.

Eine wässerige Lösung von Magentaroth oder salpetersaurem Rosanilin empfahl W. Roberts (*Quart. Journ.* July 1863. New Ser. XI, p. 170) zuerst, um die Kerne der Blutkörperchen sichtbar zu machen, und weiterhin empfahl W. Abbey (*Quart. Journ.* Oct. 1864. N. S. XVI, p. 269) dieselbe zu allgemeinerer Benutzung, weil sie gleich dem Karmine einige Theile färbt und andere nicht. Die damit getränkten Präparate werden vor der Untersuchung mit Alkohol abgespült, um den überschüssigen Farbstoff zu entfernen. Uebrigens hat Thiersch bereits früher

Digitized by Google

zur blauen Färbuug einzelner Theile eine Auflösung von **Indigokarmin** benutzt, bestehend aus 1 Theil Indigo auf 22 bis 30 Theile Wasser und soviel Indigokarmin, als zur Saturation erforderlich ist.

Seit einigen Jahren ist auch das **salpetersaure Silber** in Solution benutzt worden, um schwierig erkennbare Einzelnheiten an thierischen Gebilden sichtbar zu machen. Es kann diese Solution auf doppelte Weise wirken. Einmal präcipitirt ein Silbersalz, meistens wohl Chlorsilber oder auch eine Verbindung von Silber und Eiweiss, in der Höhlung von Zellen oder in anderen mit Flüssigkeit erfüllten Räumen und Canälen; zum anderen werden die Grenzen von Zellen, namentlich von zarten Epithelialzellen sichtbar, indem die Präparate am Lichte an diesen Stellen eine dunkelere Farbe annehmen. In ausgedehntem Maasse hat **Recklinghausen** (*Die Lymphgefässe* u. s. w. Berlin 1864) das salpetersaure Silber angewendet, aber in sehr verdünntem Zustande, nämlich 1 Theil auf 400 bis 800 Theile destillirtes Wasser. Wie lange die verschiedenen Organtheile darin bleiben müssen, ist am besten nach der stattgefundenen Einwirkung zu ermessen. Will man dergleichen Präparate aufbewahren, so müssen sie vorher gut mit Wasser ausgespült werden. Das Präcipitat in Höhlen kann dadurch verstärkt werden, wenn man auf die Durchschnitte des Theiles einen Tropfen Kochsalzsolution bringt und sie dann dem Lichte aussetzt. Will man ein schwächeres Silberpräcipitat und soll es heller sein, so kann man Ammoniak, unterschwefligsaures Natron oder Cyankalium einwirken lassen.

Endlich habe ich noch ein Verfahren von ganz anderer Art zu erwähnen, das auch dazu beitragen kann, in zweifelhaften Fällen die Textur mikroskopischer Objecte aufzuklären. Man sucht nämlich **Abdrücke der Oberflächen** zu bekommen. Ich habe schon früher (S. 47) berührt, dass sich **Wenham** mittelst der Galvanotypie Abdrücke von Diatomeen verschaffte. Einen gleichartigen, wenn auch in gewisser Beziehung gerade umgekehrten Weg hatte noch früher **Gorham** (*Quart. Journ.* 1853. II, p. 84) eingeschlagen, indem er von undurchsichtigen Objecten durchsichtige Abdrücke nahm. Er gebrauchte dazu Collodium, welches mit rothem Sandelholze schwach gefärbt war, und strich es mit einem Pinsel vier bis fünf Mal auf das Object. Ist die dünne Collodiumschicht durch Verdunsten des Aethers trocken geworden, dann lässt sich dieselbe leicht von der Oberfläche abnehmen und man kann sie nun wie ein gewöhnliches Object bei durchfallendem Lichte betrachten. Bei der Untersuchung von Mineralien, Schalen, Polypenstöcken, bei der Oberhaut von Pflanzen oder Gliederthieren, bei der Hornhaut von Gliederthieren u. s. w. kann dieses Hülfsmittel allerdings gute Dienste leisten. 84

Vierter Abschnitt.

Die physikalischen und chemischen Hülfsmittel zur Bestimmung mikroskopischer Objecte.

85 Zweierlei Mittel führen in der Naturwissenschaft zum Auffinden der Wahrheit, die Beobachtung und der Versuch. Bei der Erforschung der mikroskopischen Objecte müssen diese beiden Hülfsmittel ebenfalls ihre entsprechende Anwendung finden. Es genügt nicht, die Objecte im gewöhnlichen Zustande zu untersuchen, worin sie dem beobachtenden Auge sich darbieten; sie müssen auch absichtlich der Einwirkung verschiedener physikalischer und chemischer Kräfte unterworfen, und die hierdurch erzeugten Veränderungen müssen mit bewaffnetem Auge untersucht werden. Mit anderen Worten: der Objecttisch des Mikroskopes muss ein Laboratorium im Kleinen sein, so dass die darauf befindlichen Objecte solchen physikalischen und chemischen Agentien ausgesetzt werden, von denen man mit einiger Wahrscheinlichkeit erwarten darf, sie werden die Natur des Körpers in physikalischer oder chemischer Hinsicht näher aufklären.

Wenn daher im vorigen Abschnitte hauptsächlich die Mittel untersucht wurden, wodurch der Mikroskopiker in den Stand gesetzt wird, die morphologische Seite der Objecte kennen zu lernen, so haben wir uns jetzt mit jenen zu beschäftigen, wodurch hauptsächlich die den Objecten innewohnenden Kräfte zur Wahrnehmung kommen sollen.

86 Die allgemeine Attractionskraft wirkt unter der Form der Schwere eben so gut auf die kleinsten Staubtheilchen, die eben noch

Digitized by Google

durchs Mikroskop wahrnehmbar sind, als auf die grössten Körper unserer Erdoberfläche. Bis jetzt stehen uns allerdings keine mechanischen Hülfsmittel zu Gebote, mittelst deren wir die mikroskopischen Objecte wägen und ihr absolutes oder ihr specifisches Gewicht bestimmen könnten. Ist nun aber auch eine directe Wägung nicht möglich, so können wir doch in manchen Fällen auf einem Umwege zur Kenntniss ihres Gewichtes gelangen. Man braucht nämlich nur Zweierlei zu kennen, den Inhalt des Körperchens und dessen specifisches Gewicht. Zur Auffindung des erstern müssen die verschiedenen mikrometrischen Methoden in Anwendung kommen, von denen weiterhin ausführlicher die Rede sein wird. Das specifische Gewicht aber kennt man für viele Körper aus den im Grossen vorgenommenen Bestimmungen.

Ein Beispiel möge zur Erläuterung dienen. Man will z. B. wissen, wie viele eine von den kleinen Diatomeenschalen wiegt, aus denen der Polirschiefer von Bilin besteht. Diese Kieselschalen bilden kurze Cylinder mit einem mittleren Querdurchmesser von $9{,}3^{mmm}$ und 5^{mmm} Höhe. Ihr mittlerer Inhalt beträgt daher 339 Cubikmikromillimeter, und auf einen Cubikcentimeter kommen 2950 Millionen Stück. Die Kieselsäure hat nach Beudant ein specifisches Gewicht = 2,654. Da nun ein Cubikcentimeter Wasser 1 Gramm wiegt, so kommen auf 2950 Millionen solcher Diatomeenschalen 2,654 Gramme, somit wiegt eine einzelne Schale 0,0000000009 Gramm oder etwa $^1/_{1111000}$ Milligramm.* Auf solche Weise lässt sich das Gewicht vieler anderer aus anorganischer Substanz bestehender Körperchen berechnen, wenn aus ihrer Form der Inhalt gefunden werden kann, aber ebenso auch mancher organischer Körper, der Fettkügelchen, der Blutkörperchen u. s. w.

Man muss indessen zugeben, dass die Resultate solcher Berechnungen eher als Curiosität sich darstellen, als dass sie auf wissenschaffentlichen Werth Anspruch machen können. Von grösserem Werthe würde es sein, wenn man die relative Menge der verschiedenen Bestandtheile, woraus ein Object bei der mikroskopischen Untersuchung zu bestehen scheint, aufzufinden im Stande wäre. Gewichtsbestimmungen sind hier jedoch ganz unmöglich, und muss man sich damit begnügen, ihren Antheil am Volumen durch Messen und Zählen an einer Anzahl verschiedener Punkte festzustellen, wobei die Kenntniss des quadratischen Inhaltes des Gesichtsfeldes sehr zu Statten kommt. Die nöthige Anweisung hierzu findet sich oben (I, §. 223).

Zu den Kennzeichen der Objecte, die man durchs Mikroskop erkennt, 87
gehört auch deren verschiedenes specifisches Gewicht. Die meisten Untersuchungen nämlich werden an Körperchen vorgenommen, die von Wasser umgeben sind oder darin schwimmen. Da nun zwischen dem Glastäfelchen, worauf das Object befindlich ist, und dem daraufliegenden

Deckplättchen immer noch einiger Raum übrig bleibt, so werden alle Körperchen, welche schwerer sind als Wasser, nach einiger Zeit sinken; jene dagegen, welche leichter als Wasser sind, werden nach dem Deckplättchen aufsteigen. Schon vermöge dieser Eigenschaft kann man Fettkügelchen und kleine Luftbläschen von einer Menge anderer Körper unterscheiden, mit denen sie einige Aehnlichkeit haben, von kleinen Amylumkörnern, Pigmentmolekeln, Blutkörperchen, Präcipitatkörperchen aus kohlensaurem Kalke, kohlensaurer Bittererde, Schwefel u. s. w.

Die Verschiedenartigkeit des specifischen Gewichtes zieht bei sehr kleinen mikroskopischen Körperchen auch noch eine andere Folge nach sich, auf die ich schon früher (§. 42) mit einem Worte hingewiesen habe, dass nämlich ihre Molekularbewegung um so früher aufhört, je grösser dieses specifische Gewicht ist, und dass auch ausserdem die an der Bewegung Theil nehmenden Körperchen um so grösser sind, je geringer ihr specifisches Gewicht ausfällt. Kleine Amylumkörner, z. B. ein Theil jener, welche im Weizenmehle vorkommen, zeigen keine Molekularbewegung, während doch die Butterkügelchen der Milch, worunter sich gleich grosse befinden, starke Molekularbewegung haben; auch fehlt eine solche nicht den viel kleineren Amylumkörnchen in der *Fovilla* mancher Pollenkörnchen. Man ist mithin berechtigt, aus dem Vorhandensein der Molekularbewegung, aus derer kürzerer oder längerer Dauer, sowie aus der Grösse der daran betheiligten Körperchen auf das grössere oder geringere specifische Gewicht der Substanz, woraus die Körperchen bestehen, einen Schluss zu ziehen.

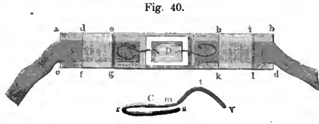
Ein solcher Schluss ist nur dann als berechtigt anzusehen, wenn keine Umstände obwalten, wodurch die Molekularbewegung auf mechanische Weise behindert wird, wie es namentlich bei solchen Körperchen vorkommt, die gleich vielen organischen Theilchen nicht in reinem Wasser sich befinden, sondern von einer schleimigen Flüssigkeit umgeben sind. Die feinkörnige, aus ungemein kleinen Körperchen bestehende Masse, die einen Theil der grauen Substanz von Gehirn und Rückenmark ausmacht, kann hier als Beispiel dienen. Wie klein auch diese Körperchen sind, man sieht sie niemals in Bewegung, so lange sie mitten in ihrem Gewebe liegen, trotzdem dass ihr specifisches Gewicht nur wenig über dem des Wassers stehen kann.

Das Gleiche gilt auch von den ebenfalls ungemein kleinen Körperchen, aus denen zahlreiche sogenannte flockige, organische und anorganische Präcipitate bestehen, welche im Augenblicke des Entstehens durch einen Theil ihrer Masse zusammenhängen, die noch eine Zeit lang mit Wasser verbunden bleibt und woraus sich erst allmälig die festen Bestandtheile abscheiden. Dabei bietet sich zugleich Gelegenheit, die Wirkung der Molekularattraction durchs Mikroskop zu beobachten und

wahrzunehmen, wie aus den kleineren Körperchen durch wechselseitige Anziehung und Verschmelzung allmälig grössere entstehen.

Um den elektrischen Strom durch die Objecte leiten zu können, 88
die sich im Gesichtsfelde des Mikroskopes befinden, kann man einen Apparat nehmen, der mit dem bekannten allgemeinen Auslader ganz übereinstimmt, jedoch viel kleiner ist und eine derartige Einrichtung hat, dass sich die Polenden unters Mikroskop bringen lassen. Dieser kleine Apparat, dessen nähere Beschreibung im dritten Bande folgt, entspricht zwar dem Zwecke vollkommen; indessen verdient die in Fig. 40 dargestellte Einrichtung wegen ihrer Einfachheit den Vorzug, zumal sie Jeder-

Fig. 40.



Elektrischer Apparat.

mann so leicht sich herstellen kann. Man nimmt nämlich einen Streifen Spiegelglas *abcd* von 10 bis 12 Centimeter Länge auf etwa 3 Centimeter Breite und klebt mit Stärkekleister zwei etwas schmalere Streifen Stanniol, *A* und *B*, so darauf, dass ein Theil des Stanniols an beiden Enden frei überragt und ein Raum von $2^1/_2$ bis 3 Centimeter dazwischen übrig bleibt. Darüber werden dann mit einer Mischung von Pech und Harz, oder mit dem früher beschriebenen Guttaperchaleim oder Seeleim wiederum zwei Glasstückchen *defg* und *hikl* befestigt und zwar in solcher Entfernung von einander, dass die Stanniolstreifen gehörig isolirt bleiben, wenn das Ganze zwischen die federnde Klammer des Objecttisches kommt. Die Poldrähte *n* und *p* sind nicht befestigt, und bestehen aus geglühtem Kupferdrahte oder noch besser aus Platindrahte, der wie bei *C* gebogen ist: der Theil *mrs* nämlich liegt auf dem Stanniol, und ein anderer Theil *mtv* liegt zu jenem in einer senkrechten Ebene. Die Biegung bei *m* erfolgt je nach den Umständen in einem mehr oder weniger stumpfen Winkel, und die Enden der Drähte können nach Willkür einander näher rücken oder entfernter bleiben. Mitten auf die Glastafel bei *D* bringt man dann das Object. Da die meisten Versuche an organischen Körperchen angestellt werden, die von Wasser umgeben sind, so nimmt man dazu einen kleinen Glas- oder Guttaperchatrog (§. 51), und taucht die Drahtenden in das Wasser, womit derselbe gefüllt ist.

Die frei herabhängenden Enden der Stanniolstreifen kann man nun mit den Polen elektrischer oder galvanischer Apparate in Verbindung

setzen. Zu mikroskopischen Untersuchungen, wenn man z. B. den Einfluss des elektrischen Stromes auf die Flimmerbewegung, auf den Blutumlauf, auf die Rotationen in Zellen, auf die Lebensäusserungen kleiner Thierchen, auf die Muskelzusammenziehungen u. s. w. prüfen will, eignet sich jedoch am besten ein kleiner Inductions- oder Rotationsapparat, dergleichen man in der Heilkunst anzuwenden pflegt.

89 An vielen physikalischen und astronomischen Instrumenten hat man bereits Mikroskope angebracht, um kleine Abstände messen zu können. Da alle solche Instrumente fortwährend Verbesserungen erfahren und das Bedürfniss genauer Bestimmungen mehr und mehr hervortritt, so darf man nicht daran zweifeln, dass das Mikroskop auch hierbei in immer weiterer Ausbreitung verwendet werden wird. Als Beispiel will ich nur die unlängst von Joule (*Mechanic's Magazine.* 5. May 1865) ersonnene Vorrichtung anführen, mittelst deren man geringe Veränderungen der magnetischen Declination unterm Mikroskope erkennen soll. Es ist eine von allen Seiten geschlossene längliche messingene Schachtel, die an der einen Seite oben ein flaches Glas und unten eine Linse hat, die als Beleuchtungslinse dient. In der Schachtel hängt an einem Coconfaden ein Paquetchen dünne magnetisirte Nadeln, an dessen Unterseite ein kleines Glashebelchen mit einem kleinen Häkchen an dem einen Ende befindlich ist. Das Häkchen greift in ein ähnliches Häkchen am kurzen Arme eines zweiten feinen Glashebelchens, welches ebenfalls an einem Coconfaden aufgehängt ist. Dieser kleine Apparat kommt unter ein Mikroskop, in dessen Ocular ein Glasmikrometer befindlich ist. Joule benutzte eine 300malige Vergrösserung und die Theilungen des Glasmikrometers betrugen $^1/_{2000}$ Engl. Zoll. Man bestimmt vorher den verhältnissmässigen Werth jeder Abtheilung des Mikrometers, und dieser betrug an Joule's Apparate 4,5 Secunden. Nun kann man noch bequem Zehntel der einzelnen Abtheilung abschätzen, und somit lassen sich mit dem kleinen Apparate noch Abweichungen messen, die weniger als eine halbe Secunde betragen. Wollte man noch mehr solche kleine Hebelchen anbringen, so dürfte es nicht schwer fallen, selbst viel geringere Abweichungen noch zur Anschauung zu bringen.

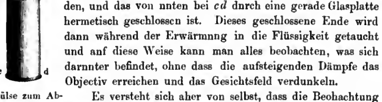
90 Mancherlei Vorkehrungen sind erdacht worden, um mittelst des Mikroskopes den Einfluss zu untersuchen, den eine erhöhte Temperatur auf die Objecte ausübt. Die bestausgedachte, nämlich jene von Chevalier, welche weiterhin von Lawrence Smith und von Nachet verbessert wurde, wird weiter unten beschrieben werden; dieselbe passt aber nur für solche Mikroskope, in denen die Strahlen, nachdem sie durch das Objectivsystem gegangen sind, durch ein gläsernes Reflexionsprisma horizontal gestellt oder in eine schief aufsteigende Richtung gebracht werden.

Allgemeinere Anwendung findet Raspail's Methode, wobei der zu

Digitized by Google

erwärmende Körper, z. B. ein Uhrglas mit Wasser und einigen Stärkemehlkörnern, in die Oeffnung des Objecttisches kommt, alsdann aber der Beleuchtungsapparat weggenommen und durch die Flamme einer Lampe ersetzt wird. Um zu verhüten, dass dabei die Gläser des Objectivsystemes durch die aufsteigenden Dämpfe beschlagen, bedeckte er letzteres mit einer nach unten kugelförmig zugeblasenen gläsernen Röhre. Zweckmässiger ist es indessen, statt derselben ein in Fig. 41 dargestelltes messingenes Rohr *abcd* zu nehmen, das weit genug ist, um über den untersten Theil des Mikroskoprohres geschoben zu werden, und das von unten bei *cd* durch eine gerade Glasplatte hermetisch geschlossen ist. Dieses geschlossene Ende wird dann während der Erwärmung in die Flüssigkeit getaucht und auf diese Weise kann man alles beobachten, was sich darunter befindet, ohne dass die aufsteigenden Dämpfe das Objectiv erreichen und das Gesichtsfeld verdunkeln.

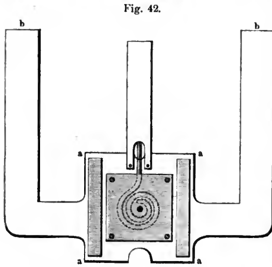
Fig. 41.



Hülse zum Abhalten der Flüssigkeit.

Es versteht sich aber von selbst, dass die Beobachtung schlecht ausfallen wird, wenn eine Flamme zugleich zum Erwärmen und zur Beleuchtung benutzt wird. Es erscheint daher zweckmässig, wenn man nach Max Schultze (*Archiv f. mikrosk. Anat.* 1865. I, S. 1) einen besonders zu erwärmenden Objecttisch (Fig. 42) auf den gewöhnlichen Objecttisch des Mikroskopes bringt. Es hat dieser heizbare Objecttisch *aaaa* zwei seitliche Arme *bb*, die durch untergestellte Lampen erhitzt werden können. Von den letzteren pflanzt sich die Wärme nach der Mitte der Tafel hin fort und kann durch ein darunter angebrachtes Thermometer gemessen werden, dessen spiralförmig gewundener weiterer Theil in der Figur durch punktirte Linien angedeutet ist. Diesen heizbaren Tisch kann man mit der Raspail'schen Hülse oder mit der feuchten Kammer (S. 98) in Verbindung setzen. Letztere eignet sich besonders, wenn man bei mässigen Wärme-

Fig. 42.



Heizbarer Objecttisch von Max Schultze.

Digitized by Google

graden von 38° bis 40°C., also bei der Temperatur der Warmblütigen beobachtet.

Es lässt sich aber nicht in Abrede stellen, dass alle Beobachtungen, die während der Erwärmung einer Flüssigkeit angestellt werden, immer nur einen relativen Werth haben. Ist das Flüssigkeitsquantum grösser, so ist es bei der stetigen Strömung, welche in Folge der Erwärmung in der Flüssigkeit entsteht, nicht möglich, die nämlichen Objecte anhaltend im Gesichtsfelde zu behalten. Es kommen die darin enthaltenen Körperchen, deren durch die Wärme bewirkte Veränderungen man kennen lernen will, in eine anhaltende auf- und niedersteigende Bewegung, und jede genanere Beobachtung wird unmöglich. In einem solchen Falle ist es besser, wenn man die Untersuchung nicht während der Erwärmung selbst, sondern nach deren Beendigung vornimmt, wenn die Strömungen in der Flüssigkeit aufgehört haben, nnd es reicht aus, wenn mau die vorher erwärmten Objecte nach stattgefundener Abkühlung nnters Mikroskop bringt. Wird dabei Sorge dafür getragen, dass die nämlichen oder doch gleichartigen Objecte stufenweise einer etwas höheren Temperatnr ausgesetzt werden, so ist man iu den Stand gesetzt, alle Grade der Einwirkung und die damit verbundenen Veränderungen kennen zn lernen.

Anders verhalten sich die Sachen, wenn nur eine verhältnissmässig geringe Temperatur auf eine ganz kleine Flüssigkeitsmenge, die durch ein Deckplättchen schichtförmig ausgebreitet ist, einwirkt. Dieser Fall ist vorhanden, wenn Max Schultze ein Tröpfchen Blut, worauf ein Deckplättchen liegt, in der feuchten Kammer auf jener Temperatur erhält, die es im thierischen Körper hatte. Da ist weit weniger Grund zn einer Bewegung der Flüssigkeit da. Es fragt sich aber gleichwohl, ob die Bewegung ganz beseitigt ist, nnd ob ihr nicht die Formveränderungen und Locomotionen, die Max Schultze an den nngefärbten Blntkörperchen beobachtete, znzuschreiben sind.

Man kann auch organische Körper vorher der Glühhitze aussetzen, um die Form und die Beschaffenheit der dabei zurückbleibenden unverbrennlichen Bestandtheile kennen zu lernen. Dabei verfährt man am besten auf die Weise, dass man die zu verbrennenden Objecte mit Wasser befeuchtet auf einem dünnen und schmalen Glasstreifen ausbreitet, dann aber, wenn die Flüssigkeit an der Luft verdunstet ist, das Glastäfelchen mit dem ganz getrockneten Körper in die Flamme einer Alkohollampe hält. Da übrigens das dünne Glasplättchen durch die Wärme der Flamme leicht zerspringen kann, so ist es räthlich, dasselbe vorher auf ein Stückchen Platinblech zu legen und beide zusammen in die Flamme zn halten. Alle vegetabilischen Körper verbrennen darin mit Leichtigkeit; zur vollkommenen Verbrennung animalischer Theile bedarf es aber in der Regel einer stärkeren Hitze, und dazu eignet sich am besten die Löthrohrflamme. Soll die Asche des verbrannten Körpers späterhin einer mikro-

Digitized by Google

chemischen Untersuchung unterworfen werden, so ist es in der Regel besser, wenn statt eines Glastäfelchens nur ein Stückchen Platinblech genommen wird, denn die Aschenbestandtheile mancher, zumal animalischer, Substanzen schmelzen mit dem Glase zusammen und lassen sich schwer davon wegbringen.

Es könnte überflüssig erscheinen, wenn hier noch ausdrücklich des 91
Lichtes als eines Hülfsmittels für die Bestimmung mikroskopischer Objecte Erwähnung geschieht, da ja die ganze mikroskopische Beobachtung lediglich auf einer passenden Anwendung desselben beruht. Indessen durch die Kenntniss jener Gesetze, denen die Lichtstrahlen beim Durchgange durch die brechenden Medien folgen, sind Mittel geboten, um mit Hülfe des Mikroskopes das Brechungsvermögen von Substanzen zu erkennen, bei denen diese Bestimmung auf einem anderen Wege nicht möglich sein würde, entweder wegen der geringen Menge der Substanz, oder weil dieselbe nur in sehr dünnen Schichten einen ausreichenden Grad von Durchsichtigkeit besitzt.

Bereits vor vielen Jahren hat Brewster (*Treatise on new philosophical Instruments.* Edinb. 1813, p. 240) das Mikroskop zu diesem Zwecke benutzt, und zwar ein zusammengesetztes Mikroskop, dessen Objectivglas eine gleichseitige biconvexe Linse von nicht zu kurzer Brennweite ist. Dieses Objectivglas wird hermetisch in einen messingenen Ring gefasst, den man mit der Substanz anfüllt, deren Brechungsvermögen bestimmt werden soll. Hierauf wird die obere Oeffnung des Ringes geschlossen, indem man ihn durch ein scheibenförmiges Glastäfelchen mit parallelen Oberflächen bedeckt, so dass die eingebrachte Substanz einer planconcaven Linse entspricht, deren concave Seite auf dem biconvexen Objectivglase aufliegt. Somit ist das Objectiv jetzt eine planconvexe Doppellinse geworden, wie wenn eine Flintglaslinse und eine Kronglaslinse zu einer achromatischen Doppellinse vereinigt werden, nur mit dem Unterschiede, dass die gewölbte Seite hier nach unten sieht und die ebene Seite nach oben.

Durch diese Umwandlung des biconvexen Objectives in ein planconvexes wird die Brennweite natürlich eine bedeutend grössere und damit nimmt auch die Entfernung zu, in der sich ein Object befinden muss, wenn es durchs Mikroskop am deutlichsten wahrgenommen werden soll. Je grösser aber das Brechungsvermögen jener, die planconvexe Linse bildenden Substanz ist, um so mehr wird diese Entfernung zunehmen.

Damit das Auge bei den verschiedenen Beobachtungen möglichst den gleichen Accommodationszustand hat, kann man nach Brewster's Rath ein Ocular mit einem darin ausgespannten Faden benutzen; wenn dieser bei jeder Beobachtung immer ein scharf ausgedrücktes Netzhautbild giebt, so darf dies als Beweis einer gleichartigen Anstrengung des Accommodationsvermögens gelten.

Um das Brechnngsvermögen berechnen zu können, muss man folgende Data kennen:

a. den Radius der Oberflächen der biconvexen Linse $= r$;

b. die Entfernung des Objectes von der biconvexen Linse, bei welcher dasselbe, wenn blos Lnft zwischen Linse und Glastäfelchen sich befindet, scharf gesehen wird, $= a$;

c. die Entfernung des Objectes von der biconvexen Linse, wobei dasselbe scharf gesehen wird, wenn zwischen der Linse und dem Glastäfelchen die zu untersuchende Substanz befindlich ist, $= b$.

Ist das Brechungsvermögen einer Substanz $= n$, so ist

$$n = 1 + \frac{(b - a)r}{ab} \text{*)}.$$

Es hat diese Brewster'sche Methode den Vorzug, dass man von jeder Substanz, welche flüssig oder doch wenigstens weich genug ist, um durch Zusammenpressen die Form einer Linse anzunehmen, den Brechungsindex bestimmen kann, auch wenn die Substanz nur wenig durchsichtig ist; die grössere Dünne der Schicht, durch welche das Licht tritt, kann die unvollkommene Durchsichtigkeit ersetzen. Mancherlei Körper, wie Wachs, Pech, Opium u. s. w., die in Masse ganz undurchsichtig sind, erlangen, wenn sie zu einer dünnen Schicht zusammengepresst werden, so viel Durchsichtigkeit, dass auf die angegebene Art ihr Brechungsvermögen sich ermitteln lässt.

Indessen ist diese Methode doch nicht frei von Nachtheilen. Erstens belastet sie das Mikroskop mit einem eigenen Apparate, nämlich mit einem ausdrücklich dazu eingerichteten Objective und mit einer recht genauen mikrometrischen Einrichtung, um die Entfernung messen zu können, in welche das Object gebracht werden muss, wenn es scharf gesehen werden soll. Zweitens muss man den Radius der Oberflächen der biconvexen Glaslinse genau kennen, und das ist bei mikroskopischen Objectivlinsen in der That eine höchst schwierige Aufgabe. Drittens entsteht noch die Frage, von welchem Punkte die Entfernung des Objectes gemessen werden soll? Brewster scheint die untere Fläche der Linse als Ausgangspunkt angenommen zu haben, aber gewiss nicht mit Recht; denn der wahre Anfangspunkt, der optische Mittelpunkt, liegt eigentlich im Innern der Doppellinse, und zwar an einer veränderlichen Stelle, je nach der Dicke und nach dem Brechungsvermögen der Substanz, woraus die planconvexe Linse besteht. Deshalb ist es nicht wohl möglich, jene

---

*) Diese Formel verdanke ich meinem Collegen van Rees, und ich habe sie der Brewster'schen substitnirt, weil letztere voraussetzt, dass man den Brechungsindex der biconvexen Linse kennt; dies ist aber doch nur in dem Falle möglich, wenn man eine solche Linse ausdrücklich für diesen Zweck aus einem Glase schleifen lässt, dessen Brechungsindex man durch eine vorausgegangene Bestimmung kennen gelernt hat.

Digitized by Google

Entfernung mit der Genauigkeit zu bestimmen, welche zu einer Berechnung erforderlich ist.

Andere zu dem nämlichen Ziele führende Methoden sind von Moser und späterhin von Bertin angegeben worden. Moser (*Repertorium der Physik* V, S. 395) befestigt ein Objectiv mit grosser Brennweite (er nimmt dazu jenes von einem gewöhnlichen zum Ablesen bestimmten Mikroskope) an ein Rohr von 14 Zoll Länge oder darüber und fügt an dessen anderes Ende das Ocular. Man findet dann den Brechungsindex einer durchsichtigen Lamelle mit parallelen Flächen oder auch einer Flüssigkeitsschicht nach der Formel $x = r\left(1 - \frac{1}{n}\right)$, wo x die Entfernung bezeichnet, bis zu welcher das Rohr verschoben werden muss, wenn ein Object successiv mit Schärfe sichtbar sein soll, indem es zuerst für sich und dann mit der zu prüfenden Substanz bedeckt betrachtet wird, r die Dicke der durchsichtigen Lamelle oder Schicht, n aber den Brechungsindex. — Bertin's Verfahren theilte Regnault am 2. April 1849 der französischen Akademie mit. Um den Brechungsindex einer Glasplatte zu bestimmen, verfährt derselbe folgendermaassen. Bei feststehendem Objective, dagegen aber beweglichem Oculare, misst er die drei Vergrösserungen G, γ und g eines Mikrometers, wenn dieses zuerst auf die Glaslamelle, dann aber unter dieselbe gelegt wird, und wenn zuletzt die Glaslamelle weggenommen wird. Man findet dann den Brechungsindex n nach der Formel

$$n = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{G - g}{G - \gamma}.$$

Ist die Lamelle sehr dick, so ist es besser, man vergleicht sie mit einer anderen, deren Brechungsindex bekannt ist, nach der Formel

$$\frac{e\left(1 - \frac{1}{n}\right)}{e'\left(1 - \frac{1}{n'}\right)} = \frac{\frac{1}{g} - \frac{1}{\gamma}}{\frac{1}{g'} - \frac{1}{\gamma'}}$$

Dieses Verfahren lässt sich auch bei Flüssigkeiten in Anwendung bringen. Der mögliche Fehler würde höchstens eine Einheit der Hunderttheile erreichen. Eine ausführliche Mittheilung über dieses Verfahren gab Bertin (*Annales de Chimie et de Physique* 1849. XXVI, p. 288) späterhin selbst.

Die nachfolgende Methode ist zwar von beschränkterer Anwendbarkeit als jene von Brewster; weil sie nur für Flüssigkeiten passt; dafür 92
ist sie aber auch mit jedem Mikroskope ausführbar, ohne dass man noch einen besonderen Apparat beizufügen braucht, und sie giebt bei gehöriger Sorgfalt sehr genaue Resultate. Dabei ist noch als Vorzug zu er-

wähnen, dass man nur ganz geringe Flüssigkeitsmengen braucht; denn schon ein Paar Milligramme reichen hin, den Brechungsindex einer Flüssigkeit zu bestimmen.

Diese Methode gründet sich auf die ungleiche Grösse der Bilder, welche man von dem nämlichen, in gleicher Entfernung befindlichen Objecte durch gleichgrosse Luftbläschen erhält, je nachdem diese in einer Flüssigkeit von ungleichem Brechungsvermögen vorkommen. Die relative Grösse dieser Bilder ist nämlich:

Wasser	($n = 1{,}336$) =	1000
Schwefelsäure . .	($n = 1{,}416$) =	749
Canadabalsam . .	($n = 1{,}504$) =	582

Zur Berechnung des Brechungsindex ist nun Folgendes erforderlich:

1. In einer dünnen, durch parallele gerade Flächen begrenzten Schicht der Flüssigkeit müssen sich einige Luftbläschen befinden, die als Zerstreuungslinsen wirken und Bilder eines darunter befindlichen Objectes entwerfen. Zu dem Ende bringt man auf ein Glastäfelchen einen Tropfen der Flüssigkeit, in der man dann einige Luftbläschen erzeugt, indem man mit einem feinen an der Löthrohrflamme ausgezogenen Glasröhrchen hineinbläst, oder indem man ein aufgelegtes Deckplättchen mit einer Pincette ein Paar Mal aufhebt, wodurch ganz leicht Luft in die Flüssigkeit gelangt. Hierauf legt man um den Tropfen herum auf das Glastäfelchen einen kleinen Papierring und auf diesen ein dünnes Deckplättchen. Einzelne Luftblasen verlieren dabei ihre Kugelform und sind für den beabsichtigten Zweck unbrauchbar; man erkennt dies sogleich an dem verdrehten Aussehen der entstehenden Bilder. Immer aber bleiben noch genug Bläschen übrig, mit denen scharf begrenzte Bilderchen entstehen. Die als Objecttafel benutzte Glastafel darf nicht über 0,2 Millimeter Dicke haben; denn eine dickere übt auf den Gang der Strahlen einen Einfluss, der bei der Berechnung nicht vernachlässigt werden dürfte. Ein gewöhnliches dünnes Deckplättchen von Glas kann dazu recht füglich genommen werden.

2. Als Object benutzt man am besten einen weissgefärbten Metallstreifen, dessen Durchmesser natürlich mit der grössten Sorgfalt bestimmt sein muss. Dieser Metallstreif kommt unter den Objecttisch und zwar parallel mit diesem auf ein passendes Gestelle zu liegen, so dass seine Mitte genau in der verlängerten optischen Axe des Mikroskopes sich befindet.

3. Auch die Entfernung von der Oberfläche des Objectes zu dem Luftbläschen muss so genau als möglich ermittelt werden. Ich habe bei meinen Messungen eine feststehende Entfernung von 10 Millimeter eingehalten, weil mit dieser Zahl gut zu rechnen ist. Auch wird diese Entfernung nach der Einrichtung der meisten Mikroskope wohl die passendste sein.

Zwischen dieser Entfernung und dem Durchmesser des Objectes muss ein gewisses Verhältniss obwalten. Beträgt nämlich der letztere mehr

als $^1/_5$ der ersteren, so macht sich eine Correction des Endresultates nöthig, weil dann die vom Objecte kommenden Randstrahlen zu schief einfallen, als dass die Differenz zwischen dem Einfallswinkel und dem Brechungswinkel ausser Acht gelassen werden dürfte.

4. Ist das Mikroskop so aufgestellt, dass man das Bild des Objectes deutlich sieht, dann muss der Durchmesser des Luftbläschens gemessen werden, sowie die Breite des darunter sich erzeugenden Bildchens. Behofs dieser auf einander folgenden Messungen muss die Entfernung des Objectives von dem Objecttische etwas verändert werden, weil die Ränder des Luftbläschens und des Bildes sich nicht in der nämlichen Ebene befinden.

Da die Richtigkeit des Resultates grösstentheils von der Genauigkeit abhängig ist, womit diese Messungen ausgeführt werden, so kann man bei deren Vornahme nicht sorgfältig genug verfahren. Ich verweise in Betreff der hierbei zu befolgenden Methoden auf den die Mikrometrie behandelnden Abschnitt. Nur will ich nicht unterlassen, noch ausdrücklich anzugeben, dass diese Messungen bei **auffallendem Lichte** vorgenommen werden müssen, weil man bei durchfallendem Lichte in Folge der Diffraction immer etwas zu kleine Werthe erhält. Das ist auch der Grund, weshalb der als Object dienende Metallstreif weiss gefärbt sein muss.

Ein ferneres Erforderniss ist es, dass die Messungen des Luftbläschens und des Bildes unmittelbar nach einander vorgenommen werden, um den möglichen Einfluss einer Temperaturänderung zu vermeiden, aber auch noch aus dem Grunde, weil die Luft von der Mehrzahl der Flüssigkeiten, namentlich von den organischen, allmälig absorbirt wird, weshalb der Durchmesser der Luftbläschen nach einiger Zeit auffallend abgenommen hat. Deshalb darf man sich nicht mit einem einmaligen Messen eines Luftbläschens und des dadurch erzeugten Bildes begnügen, vielmehr muss man die Messung an dem nämlichen Luftbläschen einige Male wiederholen und dann den Mittelwerth für die Berechnung zu Grunde legen.

Es sei nun

die Entfernung des Objectes vom Luftbläschen $= a$,
der Durchmesser des Objectes . . . . . $= b$,
der Durchmesser des Bildes . . . . $= c$,
der Durchmesser des Luftbläschens . . . $= d$,

so findet man den Brechungsindex n nach folgender Formel *), die ich meinem Collegen **van Rees** verdanke:

*) Diese Formel kann nur unter den oben erwähnten Umständen in so weit als richtig gelten, dass der aus mehreren Messungen abgeleitete Werth bis in die dritte Decimale zuverlässig ist. Wird ein dickeres Glastäfelchen genommen oder vollends ein grösseres Object, dann machen sich mehrfache Correctionen nöthig, wodurch die Berechnung weitläufig und das Resultat ein unsicheres wird.

Digitized by Google

$$n = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{(b - c)\, d}{4ac}},$$

oder da c im Verhältniss zu b als unendlich klein gelten kann,

$$n = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{bd}{4ac}}.$$

Ist, wie oben angenommen, $a = 100$, $b = 20$, oder im Allgemeinen $b = \frac{1}{5}\, a$, dann ist

$$n = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{d}{20c}}.$$

Ein Paar nach dieser Methode erhaltene Werthe mögen hier eine Stelle finden, damit der Leser in den Stand gesetzt wird, über den Grad von Genauigkeit, deren dieselbe fähig ist, ein Urtheil zu fällen.

Wässerige Flüssigkeit aus der vorderen Augenkammer einer Kuh.

Nach einer ersten Bestimmung ist	$n = 1{,}3495$
„ „ zweiten „ „	$n = 1{,}3457$
„ „ dritten „ „	$n = 1{,}3494$
„ „ vierten „ „	$n = 1{,}3496$
„ „ fünften „ „	$n = 1{,}3465.$
Im Mittel also ist	$n = 1{,}3481.$
Grösste Differenz der gefundenen Werthe . .	0,0039.
Wahrscheinlicher Fehler des mittleren Werthes	0,0005.

Glasflüssigkeit aus dem nämlichen Auge.

Nach einer ersten Bestimmung ist	$n = 1{,}3412$
„ „ zweiten „ „	$n = 1{,}3421$
„ „ dritten „ „	$n = 1{,}3474$
„ „ vierten „ „	$n = 1{,}3464$
„ „ fünften „ „	$n = 1{,}3426.$
Im Mittel ist also	$n = 1{,}3439.$
Grösste Differenz	0,0062.
Wahrscheinlicher Fehler	0,0007.

Flüssigkeit zwischen den hintersten Fasern der Krystalllinse des nämlichen Auges.

Nach einer ersten Bestimmung ist	$n = 1{,}3876$
„ „ zweiten „ „	$n = 1{,}4000.$
Im Mittel ist	$n = 1{,}3938.$

Flüssigkeit zwischen den Kernfasern der nämlichen Linse.

Nach einer ersten Bestimmung ist $n = 1{,}3956$
" " zweiten " " $n = 1{,}4064$.
Im Mittel ist $n = 1{,}4010$.

Flüssigkeit zwischen den Fasern der Krystalllinse eines Frosches.

Nach einer ersten Bestimmung ist $n = 1{,}3782$
" " zweiten " " $n = 1{,}3851$
" " dritten " " $n = 1{,}3850$.
Im Mittel ist $n = 1{,}3827$.

Liquor Morgagni in der Linsenkapsel einer Steineule.

Nach einer ersten Bestimmung ist $n = 1{,}3507$
" " zweiten " " $n = 1{,}3500$.
Im Mittel ist $n = 1{,}3503$.

Die beiden letzteren Beispiele führe ich hier besonders aus dem Grunde an, um darzuthun, dass schon eine sehr geringe Quantität einer Flüssigkeit zur Bestimmung des Brechungsindex ausreichen kann.

In neuester Zeit ist die Spectralanalyse auch bei mikroskopischen Objecten anempfohlen worden. Ganz unabhängig von einander geschah dies in England durch Sorby und Browning, durch Huggings (*Quart. Journ.* July 1865. N. S. XIX, p. 231). Die Vorrichtung des letzteren dürfte den Vorzug verdienen. Das Ocular wird nämlich durch einen Spectralapparat ersetzt, wodurch ein kleiner Theil des Objectbildchens, etwa eines Blutkörperchens oder einer anderen Zelle mit gefärbtem Inhalte, geschaut wird. Zu dem Ende ist über dem Mikroskoprohre ein Spalt von $^1/_{200}$ bis $^1/_{400}$ engl. Zoll Breite angebracht. Die Einstellung des Mikroskopes ist so, dass das Bildchen des Objectes gerade auf diesen Spalt fällt. Hinter dem Spalte, durch eine Röhre damit verbunden, ist eine achromatische Linse angebracht. Die aus dieser kommenden Strahlen sind parallel und werden durch ein in ihre Bahn gestelltes Prisma oder auch durch zwei solche Prismen gebrochen. Das hierdurch sich bildende Spectrum wird durch ein kleines achromatisches Teleskop betrachtet, dessen Ocular so gestellt ist, dass die Frauenhofer'schen Linien im Sonnenlicht oder die doppelte Natriumlinie scharf wahrgenommen werden. Jetzt wird das Objectiv des Mikroskopes dem Objecte näher gerückt oder von demselben abgerückt, bis die Längslinien und Bänder von verschiedener Intensität, die von den dunkleren und helleren Theilen des Objectes herrühren, durch das Teleskop wahrgenommen werden. 93

Bei dieser Beobachtungsweise fällt es schwer, darüber ins Klare zu

kommen, was für ein Object oder welcher Theil eines Objectes gerade sein Bild auf den erwähnten Spalt wirft. Dieser Schwierigkeit hat Wenham (*Ibid.* p. 231) dadurch abgeholfen, dass er den Apparat mit seinem binoculären Mikroskope in Verbindung gesetzt hat. So sieht man durch das Nebenrohr das Object auf die gewöhnliche Weise, und die Spectralanalyse erfolgt durch das Hauptrohr.

Eine weiter verbesserte Einrichtung zur mikroskopischen Spectralanalyse von Sorby und Browning wurde ganz neuerdings von Slack (*Quart. Journ.* January 1866. p. 53) beschrieben. Das Spectroskop ist nur ein Paar Zoll lang und so eingerichtet, dass es unter den Objecttisch kommt, oder noch besser statt des Oculares auf das Mikroskoprohr gelegt wird. Wesentlich besteht der Apparat aus zwei zu einem Oculare vereinigten Linsen, mit einem dazwischen befindlichen Spalte, der durch eine seitlich angebrachte Schraube breiter und schmaler gemacht werden kann. Ausserdem lässt sich jene Spalte durch einen Schieber verkürzen und verlängern. Das Prisma kommt auf die oberste Linse. Durch eine besondere Vorrichtung kann auch ein zweiter Lichtstrahl mittelst eines kleinen rechtwinkligen Prismas reflectirt werden und gleichzeitig durch das Prisma treten, so dass man also noch ein zweites Prisma zur Vergleichung bekommt. Nach Slack kann dieser Spectralapparat selbst bei sehr starken Objectiven in Anwendung kommen.

94 Ich gehe jetzt zur Betrachtung jener Mittel über, welche dem Beobachter zu Gebote stehen, wenn er bei mikroskopischen Untersuchungen die chemische Beschaffenheit der Körper kennen lernen will.

Im Voraus sei aber bemerkt, dass Mikrochemie und Makrochemie nicht so von einander geschieden sind, dass sich eine Grenze zwischen beiden ziehen liesse; dies ist hier so wenig möglich, wie bei der sogenannten gröberen und feineren Anatomie. Wir haben es hier mit der nämlichen Wissenschaft zu thun, welche dann als Mikrochemie bezeichnet wird, wenn das bewaffnete Auge erforderlich ist, um die Objecte oder die eintretenden Veränderungen zu erkennen.

Die mikrochemische Untersuchung beschränkt sich ferner auch nicht auf solche Körper, deren Menge zu gering ist, als dass eine gewöhnliche chemische Untersuchung möglich wäre; in vielen Fällen ist sie nur die Fortsetzung, oftmals aber auch nur die nothwendige Einleitung einer makrochemischen Untersuchung. Nicht selten vermag sie die letztere sehr abzukürzen, weil die blos durchs Mikroskop erkennbaren Bestandtheile oftmals mit einem Blicke an der eigenthümlichen Form und Farbe oder an anderen Besonderheiten zu erkennen sind, während ihre Anwesenheit ausserdem nur etwa auf einem viel grösseren Umwege zu entdecken wäre.

Endlich ist die Benutzung des Mikroskopes bei chemischen Untersnchungen, namentlich organischer Körper, auch darum noch von Wichtigkeit, weil über die Homogenität einer Substanz nur auf diesem Wege ein Urtheil möglich ist. Manche Untersuchnngen ansgezeichneter Chemiker blieben ganz werthlos für die Wissenschaft, weil sie diese vorläufige Untersuchung verabsäumten und annahmen, die Untersnchung betreffe einen einzelnen homogenen Stoff, während doch ein einziger Blick durchs Mikroskop sie darüber belehrt haben würde, dass der nntersnchte Körper ein Gemenge mehrerer morphologisch verschiedener nnd in wechselnder relativer Menge vorhandener Bestandtheile war.

Die Benutzung des Mikroskopes in der Chemie wird ohne Zweifel mit der Zeit immer mehr sich steigern, da voraussichtlich die Menge der mikrochemischen Erkennungsmittel allmälig zunehmen wird; doch auch schon gegenwärtig kommt dieses Instrument bei der Untersuchung anorganischer wie organischer Körper mit grossem Nutzen in Anwendung. Um indessen nicht zu ausführlich zu werden, werde ich mich im Folgenden auf einige der wichtigsten Stoffe beschränken, welche zu den am meisten verbreiteten Bestandtheilen der thierischen oder pflanzlichen Organismen zählen.

Man bedarf nur weniger Instrnmente bei den eigentlichen mikro- 95
chemischen Untersuchungen. Die vielerlei Arten von Gefässen, welche bei Untersuchungen im Grossen vorkommen, werden hier fast alle durch die gläsernen Objecttäfelchen ersetzt; denn in den meisten Fällen ist es nur ein einzelner Tropfen, den man der Untersuchnng unterwirft. Manchmal kann es aber nöthig werden, eine etwas grössere Menge einer Flüssigkeit anzuwenden, oder man muss anch wohl das Object eine Zeit lang mit einer Flüssigkeit digeriren lassen: in solchen Fällen sind kleine Uhrgläser mit gerade geschliffenen Rändern oder anch kleine Glaströge (§. 51) sehr branchbar. Um das Verdunsten der Flüssigkeit und das Hineinfallen von Staub dabei zn verhüten, werden sie mit einem Glastäfelchen von passender Grösse bedeckt.

Die gebräuchlichsten Reagentien werden am besten in Spritzfläschchen aufbewahrt, wovon die gebräuchlichsten Arten im §. 54 aufgezählt worden sind. Uebrigens können auch Glasstäbchen oder feine vor dem Löthrohre ausgezogene Röhrchen zum Aufnehmen von Flüssigkeiten benutzt werden.

Die wichtigeren Reagentien, welche bei mikrochemischen Untersu- 96
chungen in Betracht kommen können, sind folgende: Jodtinctur; eine Auflösung von Jod in Jodkalium; eine Verbindung der Jodsolution und Jodkaliumsolution mit Chlorzink; Salpetersäure, Salzsäure und

Schwefelsäure von verschiedener Stärke; Essigsäure; Weinsteinsäure; Oxalsäure; Kieselflnorwasserstoffsäure; Ammoniak; Solutionen von Aetzkali, von kohlensaurem Kali, von phosphorsaurem Ammoniak, von oxalsaurem Ammoniak, von saurem oxalsauren Kali, von phosphorsaurem Natron, von Chlorbaryum, von Chlorcalcium, von antimonsaurem Kali, von essigsaurem Eisenoxyd, von essigsaurem Blei, von salpetersaurem Silber, von Kupferoxydammoniak; eine alkoholische Solution von Chlorplatin; ausserdem destillirtes Wasser, Alkohol, Schwefeläther, blaues Lackmuspapier und durch Säure rothgefärbtes Lackmuspapier.

97 In der Regel wird das Reagens einfach zugefügt, indem man einen Tropfen davon mit der Flüssigkeit auf dem Objecttäfelchen in Berührung bringt. Sollen beide Flüssigkeiten gemischt werden, so bedient man sich hierzu eines Glasstäbchens. Muss ein organisches Gewebe ausgebreitet oder auseinander gezerrt werden, während es in einer Säure oder in einer alkalischen Flüssigkeit liegt, so ist es am besten, wenn man die Stahlnadeln, welche gewöhnlich dazu verwendet werden, durch Platinanadeln ersetzt.

Nicht selten kommt es darauf an, dass das Reagens nur langsam einwirkt, damit man Gelegenheit hat, die dadurch bewirkten Veränderungen in den verschiedenen Stadien zu beobachten. In einem solchen Falle legt man ein Deckplättchen auf das Object und daneben bringt man einen Tropfen jener Flüssigkeit, deren Wirknng man kennen zn lernen wünscht, so dass die letztere nnr capillär angezogen wird und sich langsam mit der das Object umgebenden Flüssigkeit vermischt. Ein solches Verfahren passt vorzngsweise, wenn das Reagens, wie es beim Einwirken der Essigsäure auf thierische Gewebe zu geschehen pflegt, hauptsächlich dazu dienen soll, Aufklärung zu erhalten, welche Bestandtheile dadurch verschwinden oder zum Vorschein kommen. Entsteht durch Vermischen der beiden Flüssigkeiten ein Präcipitat, dann ist dieses Verfahren unstatthaft, weil an der Grenze der Berührung ein Rand entsteht, wodurch die weitere Mischung behindert wird.

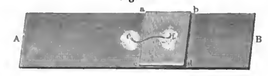
Um in einem solchen Falle eine langsame aber stetige Vermischung herbeizuführen, kann man unter das Deckplättchen einen feinen baumwollenen oder leinenen Faden bringen, der mit einem Ende herausragt. Betupft man dieses hervorragende Ende mit einem Tropfen der Prüfungsflüssigkeit, so dringt diese allmälig an dem Faden unter das Deckplättchen und vermischt sich dort mit der Flüssigkeit.

Besser noch, wenn auch etwas umständlicher, ist das in Fig. 43 dargestellte Verfahren. *AB* ist ein gewöhnliches Objecttäfelchen, worauf ein kleineres Glastäfelchen *abcd* kommt. Auf dem Objecttäfelchen

Digitized by Google

befindet sich das Object *e* oder die zu nntersuchende Flüssigkeit, auf dem Glastäfelchen liegt ein Tropfen *f* des Reagens, welches in Anwen-

Fig. 43.



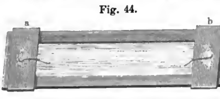
Capillare Einwirkung von Reagentien.

dung kommen soll. Ist dieses, was ja meistens der Fall zu sein pflegt, eine wässerige Solution, so fasst man nun einen mit Wasser angefeuchteten baumwollenen Faden mittelst einer kleinen Pincette und bringt das eine Ende in den oberen, das andere Ende in den unteren Tropfen, so dass die obere Flüssigkeit langsam hinüberfliesst. Damit aber die Flüssigkeit nicht zwischen den beiden Glasplatten aufgesaugt wird, muss man die untere Fläche und die Ränder des oberen Gläschens mit Fett oder mit Wachs bestreichen.

Diese kleine Vorrichtnng kann auch zugleich dazu dienen, Flüssigkeiten, die nur in sehr geringer Quantität zu Gebote stehen, von grösseren darin befindlichen Körperchen durch Filtriren zu befreien. Die zu filtrirende Flüssigkeit kommt nämlich auf das obere Gläschen, und an dem nass gemachten Faden begiebt sich der klare Theil derselben auf das untere Gläschen. Dieses Ueberfliessen erfolgt natürlich um desto rascher, je dicker das obere Gläschen ist.

Ich habe noch ein Verfahren zu erwähnen, wodurch eine langsame Vermischung der Flüssigkeiten erzielt, somit auch eine nur langsame Präcipitation herbeigeführt wird, so dass sich grössere Krystalle bilden können, deren Gestalt sich mit grösserer Sicherheit bestimmen und erkennen lässt, als bei kleinen Krystallen. Es ist am leichtesten in Anwendung zu ziehen, wenn die zu untersuchende Substanz fest ist und sich in Wasser vollständig oder theilweise löst. Die hierzu nöthige Vorrichtung ist in Fig. 44 dargestellt. In einen wagerecht stehenden länglichen Glastrog, der 8 bis 10 Centimeter Länge auf etwa 2 Centimeter Breite hat und auf die früher (§. 51) beschriebene Weise hergerichtet wird, bringt man Wasser, so dass es 1 bis 2 Millimeter hoch steht. Den zu untersuchenden Körper, z. B. die Asche eines organischen Gewebes, bringt man

Fig. 44.



Einrichtung zur langsamen Vermischung von Flüssigkeiten.

dann an dem einen Ende des Troges ins Wasser, wobei man möglichst Bewegungen vermeidet; das Reagens aber kommt in die entgegengesetzte am weitesten entfernte Partie des kleinen Troges. Kann man dieses Reagens, was namentlich bei den meisten Salzen möglich ist, im festen Zustande anwenden, so ist dies vorzuziehen; ist es aber eine Flüssigkeit, so legt man an dem einen Ende des kleinen Troges ein Glastäfelchen *a* auf und bewirkt die Ueberleitung der Flüssigkeit auf die bereits angegebene Art mittelst eines angefeuchteten Fadens. In gleicher Weise benutzt man auch am anderen Ende ein Täfelchen *b*, wenn die zu untersuchende Substanz sich in gelöstem Zustande befindet. Die beiderlei Substanzen treffen dann erst nach einiger Zeit in der Mitte des kleinen Troges auf einander und veranlassen dort ein Präcipitat. Eine unerlässliche Forderung hierbei ist es, dass sich die Flüssigkeit in vollkommener Ruhe befindet, bis das Präcipitat sich ganz abgesetzt hat; die geringste Bewegung stört den Gang der Krystallisation, und statt einiger wenigen aber grossen und regelmässigen Krystalle bekommt man viele kleine, die dabei oftmals unregelmässig gestaltet sind.

98 Gar nicht selten tritt der Fall ein, dass man das eine oder das andere zugesetzte Reagens wiederum fortschaffen will, indem man den betreffenden Körper mit Wasser auswäscht. Ohne den letzteren vom Glastäfelchen zu entfernen, wobei er oftmals zu sehr beschädigt werden könnte, gelingt dies am besten auf die Weise, dass man das Objecttäfelchen, worauf er sich unter einem Deckplättchen befindet, in eine etwas geneigte Stellung bringt und dann mittelst eines Spritzfläschchens auf den nach oben gekehrten Rand des Deckplättchens tropfenweise Wasser fallen lässt; dieses dringt unter das Deckplättchen, reisst die Flüssigkeit mit fort, lässt aber das Object zurück. Bei einiger Uebung lernt man bald den erforderlichen Neigungsgrad und die Raschheit des Durchströmens kennen. Die Sache kann durch grosse Dünnheit des Objectes erschwert werden, weil dann der Raum zwischen dem Deckplättchen und der Objecttafel zu unbedeutend ist, als dass das Wasser dazwischen dringen könnte, weshalb es über die Ränder des Deckplättchens oder auch über das Deckplättchen selbst abfliesst. In einem solchen Falle braucht man nur das Deckplättchen etwas zu heben und einen dünnen Körper darunter zu bringen, ein Haar, ein Stückchen Glimmer oder dergleichen, und dann die Ausspülung auf die angegebene Weise fortzusetzen.

Fängt man das abgelaufene Wasser in einem Uhrgläschen auf, so kann man dasselbe mit den nöthigen Reagentien untersuchen, um sich davon zu überzeugen, ob der Zweck des Auswaschens erreicht ist, gleichwie man auch bei gröberen chemischen Untersuchungen das Auswaschwasser, welches durch das Filtrum abläuft, von Zeit zu Zeit auf dessen Gehalt an der auszuwaschenden Substanz prüft.

Digitized by Google

Der Mittel, um auf mikroskopische Objecte während der Beobachtung eine höhere Temperatur einwirken zu lassen, ist schon im §. 90 gedacht worden, und habe ich hier nur noch einen Punkt beizufügen. Wenn aus der Form der auf dem Objecttäfelchen zurückbleibenden Theile über die Natur der in Solution befindlich gewesenen Substanzen ein Urtheil gewonnen werden soll, so ist es meistens am gerathensten, das Abdampfen der Flüssigkeit bei gewöhnlicher Temperatur vorzunehmen, oder doch wenigstens bei einer sehr mässigen Temperatur, weil die Krystallisation um so regelmässiger erfolgt, je langsamer die Verdunstung vor sich geht. In der Regel darf man aber nicht warten, bis die Verdunstung vollständig eingetreten ist, weil die Krystallisation gegen das Ende hin sehr verwirrt zu werden pflegt. Der geeignetste Moment, einen verdunstenden Tropfen unters Mikroskop zu bringen, ist der, wenn die Krystallbildung an den Rändern bereits begonnen hat, in der Mitte aber noch Flüssigkeit sich befindet. 99

Die krystallographische Untersuchung ist ein höchst wichtiger Theil der Mikrochemie, und kann es nicht genug anempfohlen werden, sich darin eine genugsame Fertigkeit anzueignen. Der geübte Beobachter, der sich die Krystallformen der am häufigsten in organischen Geweben und Flüssigkeiten vorkommenden Körper gut ins Gedächtniss eingeprägt hat, ist in den Stand gesetzt, in vielen Fällen mit einem einzigen Blicke durchs Mikroskop die chemische Natur mancher darin vorkommenden Bestandtheile zu erkennen. Ja nicht selten ist eine solche krystallographische Untersuchung sogar das einzige Mittel, welches zu ihrer Entdeckung führt, weil durch die übrigen in dem Gewebe oder in der Flüssigkeit enthaltenen Bestandtheile die kleinen Krystalle oftmals dermaassen eingehüllt werden, dass an ein Isoliren durch mechanische Mittel nicht zu denken ist. 100

Ist aber auch bisweilen ein einziger Blick hinreichend, die Krystallform kennen zu lernen, so verhält sich die Sache doch nicht immer auf diese Weise. Die Grundform, welche ein Körper beim Krystallisiren annimmt, kann bekanntlich zahllose Modificationen erfahren; diese gehorchen jedoch bestimmten Gesetzen, deren Kenntniss ich beim Leser voraussetzen muss. Es ist ferner bekannt, dass man durchs Ausmessen einiger Winkel eines Krystalles dessen eigentliche Grundform bestimmen kann, und deshalb ist es von Wichtigkeit, die Mittel und die Wege zu kennen, wie sich solche Winkelmessungen an mikroskopischen Krystallen mit ausreichender Genauigkeit ausführen lassen, um weiterhin daraus die Grundform und das wahre Verhältniss der Krystallaxen abzuleiten.

Hierzu dienen die verschiedenen Mikrogoniometer, deren genauere Beschreibung im dritten Bande vorkommt. Hier will ich nur bemerken, dass die bis jetzt bekannten doppelter Art sind: a. solche, wo die Win-

Digitized by Google

kelmessung durch das Umdrehen eines Oculares bewirkt wird, woran sich ein Fadenkreuz und ein in Grade getheilter Kreis befindet; b. solche, wo die Kreistheilung auf den Objecttisch aufgetragen ist und dieser sich um eine Axe drehen kann, die mit der Axe des optischen Apparates zusammenfällt, wobei aber das Ocular ebenfalls ein Fadenkreuz hat. Bei beiderlei Einrichtung kommt die Spitze des zu messenden Winkels in den Kreuzungspunkt der Fäden des Oculares, so dass der eine Schenkel mit einem der beiden Fäden coincidirt. Dann wird entweder das Ocular oder der Objecttisch herumgedreht, bis der andere Schenkel mit dem nämlichen Faden coincidirt, und jetzt liest man die Grösse des Winkels auf dem getheilten Kreise ab. Hierbei wird vorausgesetzt, dass die Spitze des Winkels gerade in der Axe des Instrumentes liegt und während der Umdrehung in dieser Axe verbleibt, wie es auch der Fall ist bei guten Instrumenten. Sonst muss man zwei Messungen des nämlichen Winkels an entgegengesetzten Punkten des Kreises vornehmen, und das Mittel aus diesen beiden Messungen giebt dann die wahre Grösse des Winkels.

Ausser den eigentlichen Mikrogoniometern giebt es noch andere Hülfsmittel, mittelst deren man die Winkel mikroskopischer Krystalle messen kann, allerdings nicht ganz so genau, wie mit einem Goniometer, aber doch mit hinlänglicher Genauigkeit, wenn es sich blos darum handelt, Krystalle, die einige Formähnlichkeit besitzen, sicher von einander zu unterscheiden.

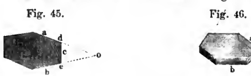
Man kann nämlich mittelst einer der früher (I, §. 179) beschriebenen Vorkehrungen, der Camera lucida, des Sömmerring'schen Spiegelchens u. s. w., das Bild eines Krystalles auf ein Papier oder auf eine Schiefertafel projiciren, und nun mit drei Punkten, wovon der eine im Winkelpunkte liegt, den auszumessenden Winkel darauf angeben. Man zieht hierauf mit einem Lineal die Schenkel des Winkels und kann dann dessen Grösse mit einem Gradbogen bestimmen.

Zu dem nämlichen Zwecke lässt sich auch das tragbare Sonnenmikroskop benutzen, dessen Beschreibung in einem späteren Abschnitte folgen wird.

Diese Methoden haben insofern selbst einen Vorzug vor den eigentlichen Mikrogoniometern, als man damit auch die Neigung zweier Flächen zu messen im Stande ist, die nicht unmittelbar an einander stossen, z. B. in Fig. 45 der Flächen *a* und *b*. Man kann nämlich die Seiten auf dem Papiere verlängern, bis sie in einem Punkte *o* zusammentreffen, worauf man dann die Grösse dieses Winkels auf die angegebene Weise bestimmt.

101 In Betreff der zu messenden Winkel muss man im Auge behalten, dass es, wenn man die wechselseitige Neigung der Flächen eines Krystalles finden will, eigentlich darauf ankommt, den Neigungswinkel der

Flächen zu messen. Die Grösse dieses Neigungswinkels lässt sich auf die angegebene Weise nur dann bestimmen, wenn die Ebene, worin der Neigungswinkel gelegen ist, auf der optischen Axe des Mikroskopes senkrecht steht. Man will z. B. die Winkel des in Fig. 46 dargestellten



Zu messende Krystalle.

sechsseitigen Prismas kennen lernen. Die Winkel, welche die Flächen *a*, *c*, *b* mit einander bilden, lassen sich durchaus nicht messen, so lange der Krystall sich in dieser Lage befindet, d. h. so lange ein Theil dieser Flächen selbst sichtbar ist, weil man so den ganzen Krystall in einer schiefen Lage sieht. Sobald sich hingegen der Krystall so wie in Fig. 45 darstellt, wo die Flächen, deren Neigung man kennen zu lernen wünscht, der optischen Axe parallel sind, also nur als Linien wahrgenommen werden, kann man die Neigung der Fläche *a* gegen die Fläche *c* und dieser gegen die Fläche *b* finden, indem man die Winkel *d* und *e* misst.

Bevor man also zur Messung schreitet, muss man gewiss sein, dass der zu messende Neigungswinkel die geforderte Stellung hat. In vielen Fällen kommt hier die allgemeine Eigenschaft zu Hülfe, dass bei einem regelmässig gestalteten Krystalle jeder Fläche eine gegenüberliegende Fläche entspricht, welche der ersteren parallel ist. Liegt nun der Krystall mit einer dieser Flächen auf der Objecttafel, so ist die andere, welche dem Auge des Beobachters zugekehrt ist, damit parallel, d. h. sie liegt senkrecht zur optischen Axe des Instrumentes. Man erkennt dies daran, dass alle Punkte dieser Fläche sich gleichzeitig deutlich darstellen, ohne dass man den Abstand zwischen dem Objecte und dem Objective zu ändern braucht.

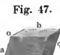
In der Regel sind so viele Krystalle da, dass man nach Willkür die Messung nur an solchen vorzunehmen braucht, die ziemlich regelmässig gestaltet sind und eine passende Lage haben. Ausserdem kann man durch einen Druck des Deckgläschens, durch Erregen einer Strömung u. s. w. Veränderungen der Lage herbeiführen, so dass man in Stand gesetzt wird, die Winkelmessungen in verschiedener Richtung vorzunehmen.

Hat man einzelne Krystalle von ziemlicher Grösse, so kann man einen davon mit etwas Fett oder Wachs auf ein Objecttäfelchen kleben und dann die Winkelmessung ganz gut bei auffallendem Lichte ausführen.

Indessen ist es nicht allemal möglich, durch directe Messung des Stellungs- oder Neigungswinkel der Flächen zu bestimmen; es kann dies

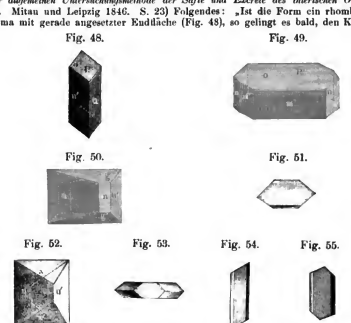
nur dann geschehen, wenn die dem Auge zugekehrte Fläche senkrecht auf jenen Flächen steht, deren Neigung gemessen werden soll. In dem Rhomboëder (Fig. 47) ist dies nicht der Fall. Alsdann muss aus dem gemessenen Winkel *poq* der Neigungswinkel der Flächen *a* und *b* durch Berechnung gefunden werden. Dies sowohl als die Berechnung des wechselseitigen Verhältnisses der Axen erfolgt nach trigonometrischen Regeln *).

Fig. 47.



Rhomboëder.

*) In den krystallographischen Schriften wird hierüber ausführlich gehandelt. Nur um die mikrogoniometrische Methode durch ein Paar Beispiele zu erläutern, entlehne ich aus der vortrefflichen kleinen Schrift von Carl Schmidt (*Entwurf einer allgemeinen Untersuchungsmethode der Säfte und Excrete des thierischen Organismus.* Mitau und Leipzig 1846. S. 23) Folgendes: „Ist die Form ein rhombisches Prisma mit gerade angesetzter Endfläche (Fig. 48), so gelingt es bald, den Krystall



Verschiedene zu messende Krystalle.

auf die letztere *o P* zu legen und die Neigung der Flächen *u'* : *u*, d. h. den Winkel des Prisma der Grundform ∞P zu messen, woraus sich das Verhältniss der makro- und brachydiagonalen Axe:

$$b : c = 1 : tang.\ ^1\!/_2\ \gamma$$

oder

$$c = tang.\ ^1\!/_2\ \gamma$$

ergiebt, wo γ den spitzen Winkel der Basis *o P*, d. h. den Flächenneigungswinkel des Prisma ∞P bezeichnet.

In gleicher Weise geschieht die Messung beim Hinzutreten des makro- und brachydiagonalen Flächenpaares *m* und *n* (Fig. 49), wodurch ein verticales Prisma mit achteckiger Basis gebildet wird.

Da die Kenntniss der Krystallformen bei den mikrochemischen Untersuchungen so ungemein wichtig ist, so gehe ich in den folgenden Blättern die Beschreibung und Abbildung der Krystalle einer Anzahl Körper, die als solche in thierischen oder pflanzlichen Organismen vorkommen, oder auch wohl durch chemische Einwirkung entstehen. Daneben habe ich auch für einzelne Fälle die Abbildung der nämlichen Substanz im 102

Bei allen verticalen Prismen mit der geraden oder schiefen Endfläche $o P$ ist die Bestimmung des vollständigen Axenverhältnisses unmöglich, die Hauptaxe a hat ja jede beliebige Länge. Sie wird erst durch Zutritt horizontaler Prismen oder Pyramiden bestimmt, die indess selten ganz fehlen.

Haben wir nun eine Combination der letzterwähnten Form $\infty P \,.\, \infty \overline{P} \infty \,.\, \infty \breve{P} \infty \,.\, o P$ (Fig. 49) mit einem Horizontalprisma, z. B. dem brachydiagonalen $\breve{P} \infty$ in Fig. 50 g (man denke sich in der Figur die Kanten des Prisma ∞P rechts und links durch das makrodiagonale Flächenpaar m gerade abgestumpft, wie es die Kanten vorn und hinten durch n sind), so suchen wir den Krystall auf die Fläche m zu wälzen, wo er dann wie in Fig. 51 (Harnsäurekrystall) erscheint. Der Winkel oben und unten ist der Neigungswinkel der Flächen $g : g'$ des brachydiagonalen Horizontalprisma, dessen Messung durch sehr einfache Berechnung das Verhältniss der Hauptaxe a zur Makrodiagonale b ergiebt. Für $b = 1$ ist $a = cotg\ {}^1/_2\, \beta$, wenn der gemessene Winkel des Horizontalprisma $= \beta$.

Ist gleichzeitig das makrodiagonale Horizontalprisma $\overline{P} \infty$ vorhanden, so bildet die ganze Combination ein achteckiges verticales Prisma (Fig. 52) mit vierflächiger pyramidaler Endzuspitzung. Um den Neigungswinkel der Flächen $x : x'$ dieses Prisma zu messen, verfährt man, wie beim brachydiagonalen eben erwähnt, mit dem einzigen Unterschiede, dass der Krystall, statt aufs makrodiagonale m vielmehr aufs brachydiagonale n (Fig. 49 und 50) gewälzt wird. Man erhält dadurch das Verhältniss:

$$a = c \,.\, cotg\ {}^1/_2\, \gamma \text{ oder}$$
$$c = a \,.\, tang\ {}^1/_2\, \gamma.$$

Es ist aber $a = cotg\ {}^1/_2\, \beta$ oben gefunden, mithin ist

$$c = cotg\ {}^1/_2\, \beta \,.\, tang\ {}^1/_2\, \gamma$$

und das vollständige Axenverhältniss

$$= a : b : c = cotg\ {}^1/_2\, \beta : 1 : cotg\ {}^1/_2\, \beta \,.\, tang\ {}^1/_2\, \gamma,$$

wo γ den Neigungswinkel der Flächen $x : x'$ des makrodiagonalen Horizontalprisma bedeutet.

Gehört endlich der Krystall dem monoklinischen Systeme an, so findet sich meist das Prisma der Grundform ∞P mit dem klinodiagonalen Flächenpaar ($\infty P \infty$) und der schiefen Endfläche $o P$ (Fig. 53 Krystall von oxalsaurem Harnstoffe und Fig. 54 Krystall von schwefelsaurem Kalke). Man giebt in diesem Falle erst die Lage, wie Fig. 53, d. h. auf der schiefen Endfläche, um den Flächenwinkel der letzteren $= \gamma$ zu messen, und wälzt ihn dann aufs klinodiagonale Flächenpaar (Fig. 54), um den Neigungswinkel der schiefen Axen a zu messen. Der Neigungswinkel des Prisma der Grundform γ' ergiebt sich nun aus der einfachen Relation zwischen den gegebenen Stücken $\angle \gamma$ und $\angle a$:

$$cotg\ {}^1/_2\, \gamma' = cotg\ {}^1/_2\, \gamma \,.\, sin\ a.$$

Dieselbe Relation findet sich natürlich zwischen jedem geneigten Flächenpaar, es mag nun die schiefe Endfläche oder ein orthodiagonales Hemiprisma $\pm P \infty$ irgend welcher Art sein. Nennen wir hier die Klinodiagonale b, die Orthodiagonale c, so wird auch hier nur das Verhältniss dieser beiden Axen direct bestimmt, und zwar für $b = 1$:

$$b : c = 1 : tang\ {}^1/_2\, \gamma,$$

oder in dem Grundprisma ∞P für $b' = 1$ (wo b' die Axe des Prisma im klinodiagonalen Hauptschnitte bedeutet, c die Orthodiagonale bleibt):

$$b' : c = 1 : tang\ {}^1/_2\, \gamma' = 1 : \frac{tang\ {}^1/_2\, \gamma}{sin\ \alpha}.$$

amorphen Zustande beigefügt. Wer sich indessen auf solche Untersuchungen einlassen will, der muss sich vorher erst mit den Erscheinungen bekannt machen, welche beim Uebergange der Körper aus dem flüssigen Zustande in den festen, namentlich also bei der Bildung von Präcipitaten auftreten. Denn diese erleiden vom Momente ihres Entstehens an eine Reihe von Veränderungen und Gestaltumwandlungen, die man kennen muss, wenn man nicht irre geführt werden will.

Im Allgemeinen zerfallen die Präcipitate in amorphe und krystallinische. Die amorphen unterscheidet man aber wieder in:

a. molekuläre oder solche, die nur aus sehr kleinen, nicht zusammenhängenden Molekeln bestehen, an denen Molekularbewegung zu beobachten ist;

b. flockige, die aus grösseren oder kleineren Gruppen zusammenhängender Molekeln bestehen, an denen aber keine Molekularbewegung zu beobachten ist;

c. häutige, die aus wahren Häuten mit Falten bestehen, oftmals

---

Ist ausser der schiefen Endfläche noch ein Flächenpaar, z. B. $-P\infty$, ein orthodiagonales horizontales Hemiprisma gegeben (Fig. 55, Krystall von oxalsaurem Harnstoffe), dessen Neigung gegen die Kante des Verticalprisma $\infty P = \alpha'$ sei (d. h. der Winkel $\angle 90^0$), so wird die Axe a bestimmt und zwar:

$$a = \frac{\sin(\alpha + \alpha')}{\sin \alpha'}$$

nnd wir haben das vollständige Axenverhältniss:

$$a : b : c = \frac{\sin(\alpha + \alpha')}{\sin \alpha'} : 1 : tang\ \tfrac{1}{2}\gamma.$$

Ist das gegebene Flächenpaar das jenem entsprechende positive Hemiprisma $+P\infty$, dessen Neigungswinkel $\angle 90^0$ gegen die Kante des Verticalprisma ∞P gleich α'' sei, so wird das Axenverhältniss, da $a = \frac{\sin(\alpha - \alpha'')}{\sin \alpha''}$ ist,

$$a : b : c = \frac{\sin(\alpha - \alpha'')}{\sin \alpha''} : 1 : tang\ \tfrac{1}{2}\gamma.$$

Zwischen den Neigungswinkeln α'' nnd α' der positiven und negativen orthodiagonalen horizontalen Hemipyramide $\pm P\infty$ und der Kante des Verticalprisma ∞P besteht mithin die Relation:

$$\frac{\sin(\alpha - \alpha'')}{\sin \alpha''} = \frac{\sin(\alpha + \alpha')}{\sin \alpha'}$$

$$\text{oder}\quad cotg\ \alpha'' = cotg\ \alpha' + 2\ cotg\ \alpha.$$

Im hexagonalen Systeme haben wir es nnr mit der hemiëdrischen Seite desselben, dem Rhomboëder, zu thnn. Das Rhomboëder ist eine besondere Form des Hendyoëders (rhombischen Prisma mit schiefer auf die Kanten gerade aufgesetzter Endfläche, Fig. 48), nämlich ein solches, in dem die Neigung der Endfläche oP gegen die Flächen des Verticalprisma ∞P (Fig. 48) $oP : u'$ und $oP : u$ gleich sind der Flächenneigung des letzteren selbst $u : u'$, wo also $oP : u' = oP : u = u : u'$. Bezeichnen wir diesen Neigungswinkel mit ϱ, die ebenen drei gleichen Flächenwinkel, die das Eck oP, u', u bilden, mit φ, so finden zwischen diesen folgende Relationen statt:

$$1.\ \cos \tfrac{1}{2}\varphi = \frac{\cos \tfrac{1}{2}\varrho}{\sin \varrho} \text{ und } 2.\ \sin \tfrac{1}{2}\varrho = \frac{\sin \tfrac{1}{2}\varphi}{\sin \varphi},$$

mittelst derer man aus einem gegebenen den anderen leicht berechnet.

Wir messen bei mikroskopischen Krystallen immer am leichtesten den oberen Winkel φ und berechnen daraus den körperlichen ϱ.“

ganz glasartig durchsichtig sind und bisweilen eine molekuläre Zusammensetzung haben.

Diese ursprünglichen Formen erleiden in vielen Fällen Veränderungen insofern, als die schon vorhandenen Molekeln sich zu grösseren rundlichen Körnern vereinigen, oder aber, wenn das Präcipitat durchscheinend häutig ist, so entstehen in demselben nun erst kleine Molekeln, während die frühere häutige Form allmälig ganz verloren geht.

Auch bei den krystallinischen Präcipitaten, obwohl die Krystalle selbst eine primäre Bildung sind, treten manchmal Uebergänge ein, aus denen man leicht auf das Gegentheil schliessen könnte und die auch wirklich von Manchen als Beweise dafür benutzt worden sind, dass die Krystalle aus amorphen Körperchen heraus oder durch Aneinanderfügung solcher sich entwickeln.

Sehr häufig sieht man nämlich ein amorphes Präcipitat einem krystallinischen vorausgehen. Die genauere Untersuchung lehrt aber, dass in allen solchen Fällen das amorphe Präcipitat erst wieder hier und da in der Flüssigkeit sich löst, und dass nun anderwärts, an hellen Stellen der Flüssigkeit, die Krystallkerne zum Vorschein kommen, die sich allmälig vergrössern durch unmittelbaren Ansatz krystallisirbarer Substanz aus der Flüssigkeit. Somit hat das frühere amorphe Präcipitat eine Veränderung erfahren, die wahrscheinlich meistens in einem Gebundenwerden des Krystallwassers besteht, bevor dasselbe wiederum als krystallinisches Präcipitat zum Vorschein kommt.

Ausserdem gehört es aber auch zu den Eigenthümlichkeiten der mikroskopischen Krystalle, dass ihre Flächen und Seiten sehr häufig Biegungen machen, so dass sie, bei nur einigermaassen unregelmässiger Gestaltung, wirklich amorphen Körnern gleichen können. Eine nähere Untersuchung zeigt aber bald, dass diese Uebereinstimmung nur eine scheinbare ist und lediglich auf Rechnung unserer unvollkommenen Beobachtungsmittel fällt.

Ich habe noch hinzuzufügen, dass die nämliche Substanz sich in sehr verschiedenen Formen präcipitiren kann, je nach den Umständen, unter denen die Präcipitation statt hat. So bildet der kohlensaure Kalk ein häutiges Präcipitat, wenn bei gewöhnlicher Temperatur eine concentrirte Lösung eines Kalksalzes mit einer ebenfalls concentrirten Lösung von kohlensaurem Kali oder Natron gemischt wird. Hingegen besteht das Präcipitat aus flockig zusammenhängenden Molekeln, sobald die Auflösungen verdünnt sind. Erfolgt die Mischung bei einer Temperatur über 34° C., dann ist das Präcipitat krystallinisch und besteht wohl grösstentheils aus Kalkspathrhomboëdern. Ist endlich die Kohlensäure im Uebermaasse zugegen, wie in dem Falle, wo Kalksalzsolutionen mit doppeltkohlensaurem Kali oder Natron präcipitirt werden, dann besteht das Präcipitat zum Theil aus Arragonitkrystallen.

Digitized by Google

Aus dem Gesagten erhellt so viel, dass man bei mikroskopischen Untersuchungen, wenn aus der Form des Präcipitats auf dessen chemische Beschaffenheit ein Schluss gezogen werden soll, die Umstände im Auge behalten muss, unter denen sich dasselbe gebildet hat. Namentlich ist dies bei organisch-chemischen Untersuchungen nöthig, weil man es hier selten mit reinen Auflösungen zu thun hat, sondern fast jederzeit mit Gemengen verschiedener Substanzen, worunter leicht solche befindlich sind, die, wenn sie auch in gar keiner chemischen Beziehung zu der sich präcipitirenden Substanz stehen, doch oftmals auf deren Form von Einfluss sind. Manche Präcipitate, die unter gewöhnlichen Umständen amorph auftreten, werden krystallinisch, wenn Gummi, Zucker oder thierischer Leim in jenen Solutionen vorkommt, aus deren Vermischung sie hervorgehen. Damit erklärt sich auch zugleich, warum häufig in thierischen und pflanzlichen Flüssigkeiten Krystalle von Substanzen angetroffen werden, die man durch chemische Einwirkungen entweder gar nicht oder unter einer anderen Modification der Grundform erhält. Beweise hierfür werden im Nachfolgenden beigebracht werden.

103 Ich lasse jetzt eine Uebersicht jener Krystallformen folgen, welche bei organisch-chemischen Untersuchungen am häufigsten auftreten, und werde die Beschreibung durch beigefügte Abbildungen *) erläutern. Indessen gebe ich nur die Hauptformen an, da die zahllosen Abänderungen, welche bei einer und der nämlichen Grundform durch Abstutzen der Winkel, der Kanten u. s. w. eintreten können, sich unmöglich alle darstellen liessen. Wer sich in mikrochemischen Untersuchnngen einige Fertigkeit zu eigen machen will, dem kann es nicht genug angerathen werden, im Voraus eine Menge Krystalle solcher Substanzen, die er bereits kennt, durchs Mikroskop zur Anschauung zu bringen und die mancherlei Gestalten, unter denen sie auftreten können, dem Gedächtnisse einzuprägen.

1. Jod (Fig. 56). Dasselbe kommt zwar niemals im freien Zustande in thierischen oder pflanzlichen Geweben oder Flüssigkeiten vor; seine Krystalle müssen aber gleichwohl hier einen Platz finden, weil sie sich beim Vermischen der als Reagens häufig benutzten Jodtinctur mit Wasser bilden. Es sind kleine, fast undurchsichtige rhombische Tafeln,

---

*) Als das holländische Original (1848) veröffentlicht wurde, gab es noch keine nur einigermaassen vollständige Sammlung von solchen Krystallabbildungen. Diesem Mangel ist seitdem durch O. Funke (*Atlas der physiologischen Chemie*, Leipzig 1853, Ebend. 1858) und durch Robin et Verdeil (*Traité de Chimie anatomique et physiologique etc. accompagné d'un Atlas de 45 planches gravées.* 3 Vol. Par. 1853) abgeholfen worden. Dahin muss ich den Leser verweisen, der mehr Krystallabbildungen nachsehen will; sie sind in beiden Werken, zumal aber im letztgenannten, durch schöne Ausführung ausgezeichnet. Einige krystallinische Substanzen werde ich aber mit aufführen, die in keinem der beiden Werke vorkommen.

wie in *A* (Präcipitat von einer schwachen Jodtinctur), die aber auch manchmal eine elliptische Gestalt haben, wie in *B* (Präcipitat aus einer concentrirten Jodtinctur), wo sie dann mit den Sporidien mehrerer Schimmelsorten grosse Aehnlichkeit zeigen. Die Unterscheidung von letzteren fällt indessen vorkommenden Falles nicht schwer, weil die Jodkrystalle einige Zeit nach erfolgter Präcipitation durch Verflüchtigung von selbst verschwinden.

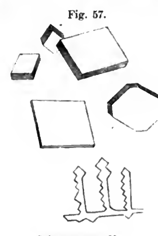
Fig. 56.



Jod.

2. Salpetersaures Natron oder Würfelsalpeter (Fig. 57) krystallisirt aus einer verdunstenden wässerigen Lösung in rhomboëdrischen Tafeln, die aber häufig unter einander verwachsen sind und dendritische Figuren darstellen, die einigermaassen denen des Salmiaks gleichen, noch mehr aber jenen des schwefelsauren Ammoniaks. Sie unterscheiden sich aber dadurch, dass die Krystallplättchen des letztgenannten Salzes ganz rechtwinklig sind, während das salpetersaure Natron Winkel von 77° und 103° hat. Bedenklicher ist die Verwechselung mit salpetersaurem Harnstoffe, welche dann eintreten kann, wenn man den Harnstoff in thierischen Flüssigkeiten aufsucht, in denen er, wie es wohl beim Blute vorkommt, nur in sehr geringer Menge enthalten ist, wobei sich dann durch die Behandlung mit Salpetersäure aus den verschiedenen Natronsalzen des Blutes salpetersaures Natron gebildet haben kann. Die ansehnlichere Grösse des spitzen Winkels (82°) beim salpetersauren Harnstoffe, besonders aber die grössere Löslichkeit des salpetersauren Natrons in Wasser, lassen die beiden Verbindungen von einander unterscheiden. Auch krystallisirt das salpetersaure Natron nicht in solchen dünnblätterigen, schichtenweise auf einander liegenden sechseckigen Tafeln, in denen der salpetersaure Harnstoff vorzukommen pflegt, und andererseits hat der letztere nicht in gleich grossem Maasse die Neigung zu dendritischen Formen.

Fig. 57.



Salpetersaures Natron.

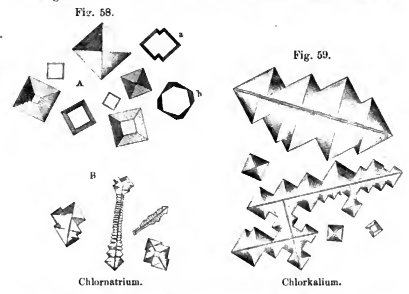
3. Chlornatrium (Fig. 58 s. f. S.). Die häufigste Form, in welcher das Küchensalz aus schwachen Solutionen herauskrystallisirt, ist die in regelmässigen Octaëdern (*A*), deren Flächen immer gestreift sind. An vielen sind auf verschiedene Art die Winkel fehlend (*b*). Auch findet man wohl zuweilen Zwillingskrystalle (*a*).

Digitized by Google

Erfolgt die Verdunstung der Chlornatriumlösung sehr rasch, z. B. auf einer Objecttafel über der Weingeistflamme, dann bilden sich nur wenige regelmässige Octaëder, vielmehr sind in der Regel eine mehr oder weniger grosse Anzahl derselben zu unregelmässigen Figuren verwachsen (*B*), die manchmal auch dendritisch werden.

4. Chlorkalium (Fig. 59) lässt sich durch die Krystallform nur schwierig vom Chlornatrium unterscheiden. Wenn indessen dieses Salz

Fig. 58. Fig. 59.



Chlornatrium. Chlorkalium.

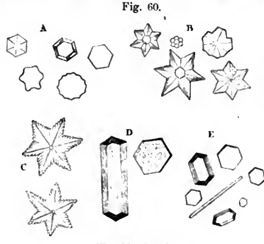
aus einer Solution auf einer Objecttafel herauskrystallisirt, so kommen isolirte Octaëder nur selten vor, sondern es entstehen meistens grössere krystallinische Figuren durch Verwachsung einer Anzahl einzelner Krystalle, meistens in dendritischer Form. Ein etwa noch vorhandener Zweifel lässt sich beseitigen, wenn man eine alkoholische Solution von Chlorplatin zusetzt. Dadurch entsteht, gleichwie bei allen Kalisalzen, ein amorphes Präcipitat. Ein solches kommt bei Natronsalzen nicht vor.

Die mikrochemische Erkennung der beiden Klassen von Salzen erfolgt aber mit noch grösserer Bestimmtheit beim Zusatze von Kieselfluorwasserstoffsäure.

5. Fluorkieselnatrium (Fig. 60). Die eigenthümlich geformten, zum hexagonalen Systeme gehörigen Krystalle bilden sich, wenn einer Natronsalzsolution Kieselfluorwasserstoffsäure zugesetzt wird. Bei schneller Vermischung werden es sechseckige dünne Platten (*A*), die aber auch oftmals sternförmig sind (*B*) oder farrenblattförmige Strahlen besitzen (*C*). Erfolgt die Mischung der beiden Flüssigkeiten auf die früher angegebene Weise nur langsam, dann besteht das Präcipitat aus sechsseitigen ziemlich

langen Prismen (*D*). Da dieses Salz in Wasser nicht ganz unlöslich ist, so entsteht kein Präcipitat, wenn Kieselfluorwasserstoffsäure sehr verdünnten Solutionen von Natronsalzen, wohin die meisten organischen Flüssigkeiten gehören, zugesetzt wird. Lässt man aber die Mischung auf einer Objecttafel an der Luft langsam verdunsten, dann treten sehr regelmässig geformte Krystalle auf. Die unter *E* dargestellten stammen z. B. aus einem Chlornatrium enthaltenden Harne, dem Kieselfluorwasserstoffsäure zugesetzt wurde.

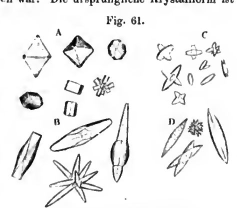
Fig. 60.



Fluorkieselnatrium.

6. Bimeta-antimonsaures Natron (Fig. 61). Das Auftreten von Krystallen dieses Salzes beim Zusatze von bimeta-antimonsauren Kali zu einer Flüssigkeit ist ein Beweis, dass in jener Flüssigkeit Natron enthalten war. Die ursprüngliche Krystallform ist das Quadratoctaëder. Dieses kann aber auf mannigfaltige Weise an den Kanten und Winkeln abgestutzt sein, oder es kann sich zu Prismen verlängert haben, die zwillings-, drillingsartig oder auf eine noch mehr zusammengesetzte Weise sich vereinigen können. Auch kommen noch Verschiedenheiten vor je nach der Qualität des benutzten Natronsalzes und nach dem Concentrationsgrade der Solution. So stammen die Krystalle der Gruppe *A* aus einer verdünnten Solution von schwefelsaurem Natron, jene der Gruppe *B* aus einer mehr concentrirten Solution des nämlichen Salzes, jene der Gruppe *C* aus einer Chlornatriumsolution, jene endlich der Gruppe *D* aus einer Solution von kohlensaurem Natron.

Fig. 61.



Bimeta-antimonsaures Natron.

Bemerkt mag noch werden, dass diese Krystalle zu jenen gehören, welche bei durchfallendem Lichte am stärksten schattirt sind, und zwar wegen ihres starken Lichtbrechungsvermögens.

7. Chlorammonium (Fig. 62). Dieses so häufig in thierischen Flüssigkeiten vorkommende Salz erkennt man leicht an der eigenthümlichen

Fig. 62.





Chlorammonium.

federförmigen, oftmals kreuzförmigen Krystallverästelung, wenn es auf einer Objecttafel aus einer verdunstenden schwachen Solution anschiesst. Die Gruppe *A* stammt aus einer blossen wässerigen Solution, die Gruppe *B* aus Speichel, die Gruppe *C* aus Harn.

Da dieses Salz etwas hygroskopisch ist, so verdunstet eine damit geschwängerte Solution oftmals nicht eher vollständig, als bis eine schwache Erwärmung eintritt. Diese darf jedoch nicht über einen gewissen Grad hinausgehen, weil sonst das Salz sich verflüchtigen würde.

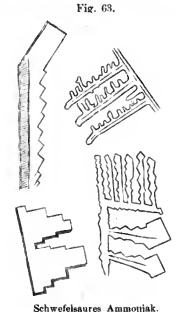
8. Schwefelsaures Ammoniak (Fig. 63) giebt ebenfalls dendritische Bildungen, wenn es auf einer Objecttafel verdunstet. Vom Chlorammonium unterscheidet man sie jedoch leicht an den zusammengeflossenen rectangulären vierseitigen Plättchen, aus denen die Verästelungen bestehen. Von den Formationen des salpetersauren Natrons unterscheiden sie sich durch andersartige Ecken und ausserdem auch noch durch die bei höherer Temperatur eintretende Verflüchtigung.

9. Phosphorsaures Ammoniak (Fig. 64) giebt beim Verdunsten ebenfalls eine dendritische Krystallisation, die aber in der Regel viel unregelmässiger ist als vom schwefelsauren Ammoniak. Die Hauptaxen,

Digitized by Google

auf denen die Verästelungen stehen, verlaufen meistens parallel (*A*), was beim Chlorammonium nur selten vorkommt. Die Unterscheidung vom schwefelsauren Ammonium fällt schon etwas schwerer, da manche dendritische Gestaltungen (*B*) mit denen dieses Salzes grosse Aehnlichkeit haben.

Fig. 63.

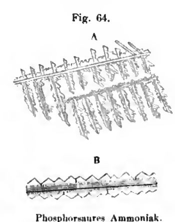


Schwefelsaures Ammoniak.

10. Phosphorsaures Natronammoniak (Fig. 65). Die Krystalle dieses Doppelsalzes, das auch im Harne vorkommt, gehören zum monoklinischen Systeme. Die bei *A* abgebildeten haben sich aus einer wässerigen Solution durch langsames Verdunsten abgesetzt; *B* zeigt die dendritische Form der Krystallisation beim schnellen Verdunsten auf einer Objecttafel.

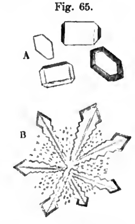
11. Oxalsaures Ammoniak (Fig. 66 s. f. S.). Die Grundform der Krystalle dieses Salzes ist das Quadratoctaëder (*a*), in der es jedoch selten vorkommt. Erfolgt die Krystallisation nur etwas langsam, so entstehen quadratische Prismen (*b*) mit stumpfem, auch wohl abgeplattetem Polflächenwinkel, oder manchmal bilden sich auch dünne prismatische Platten (*c*),

Fig. 64.



Phosphorsaures Ammoniak.

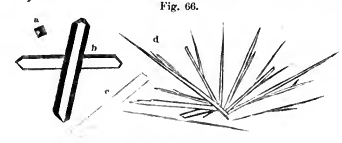
Fig. 65.



Phosphors. Natronammoniak.

welche an jene des schwefelsauren Kalks erinnern. Schiessen die Krystalle etwas rascher an, so entstehen dünne, sehr spitze Nadeln (*d*), die

Fig. 66.



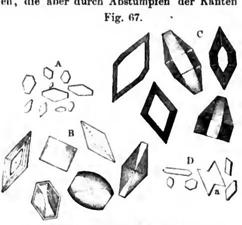
Oxalsaures Ammoniak.

bald isolirt daliegen, bald wie aus einem gemeinschaftlichen Mittelpunkte divergiren, oder sich auch wohl kreuzförmig decken. Ihre Oberfläche ist oftmals rauh, wie angefressen.

Die Löslichkeit in Wasser unterscheidet diese Krystalle leicht von denen des schwefelsauren Kalks sowohl als des oxalsauren Kalks, mit denen sie sonst leicht verwechselt werden könnten.

12. Saures weinsteinsaures Kali (Fig. 67). Sechsseitige Prismen, die aber durch Abstumpfen der Kanten und Ecken in mehrfachen Modificationen vorkommen, deren hauptsächlichste in der Figur angegeben sind.

Fig. 67.



Saures weinsteinsaures Kali.

A sind Krystalle, wie sie sich bilden, wenn eine Salpetersolution mit einer Weinsteinsäuresolution auf einem Objecttäfelchen rasch gemischt wird.

B ist das Product eines langsamen Zusammentretens dieser beiden Flüssigkeiten.

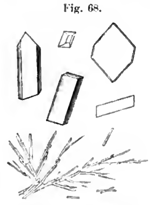
C entsteht durch langsame Präcipitation auf die früher erwähnte Weise.

D entsteht durch Vermischung der Weinsteinsäuresolution mit der Solution von kohlensaurem Kali. Darunter kommen auch Zwillingskrystalle (*a*) vor, welche jenen des schwefelsauren Kalks gleichen.

13. Doppeltoxalsaures Kali (Fig. 68). Die Grundform ist ein

Rhombenoctaëder. Meistens indessen kommen rhombische Prismen vor, die wenig oder gar nicht zugespitzt sind. Manche Krystalle stellen dünne Plättchen dar. An den Rändern des verdunstenden Tropfens zeigen sich dendritische Figuren, die gänzlich aus kleinen zusammenhängenden Prismen zusammengesetzt sind.

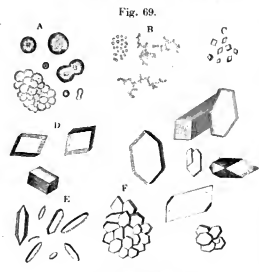
Fig. 68.



Doppelt oxalsaures Kali.

14. Kohlensanrer Kalk (Fig. 69) ist einer der verbreitetsten Körper in thierischen und pflanzlichen Geweben, tritt aber meistens amorph auf als Bestandtheil der Zellmembranen u. s. w., oder auch in nuregelmässigen rnndlichen Körnern. Ganz ähnliche Körnchen entstehen nach einiger Zeit in dem Präcipitate, welches beim Zusatze kohlensanrer Alkalien zu löslichen Kalksalzen auftritt. Die Körnchen erscheinen grösser oder kleiner, sie können isolirt vorkommen oder zu Gruppen von verschiedener Grösse vereinigt sein. Bei *A* sind einzelne solche Körner abgebildet, welche zuletzt aus der Metamorphose eines Präcipitats hervorgingen, das durch die Vermischnng concentrirter Solutionen von Chlorcalcium nnd kohlensaurem Kali entstand. In den grösseren erkennt man einen deutlichen gekörnten Kern, von dem manchmal Strahlen nach der Peripherie gehen. Kleinere Präcipitatkörnchen, durch Vermischung verdünnter Solutionen der nämlichen Salze entstehend, sind bei *B* dargestellt. Werden die Solutionen im kochenden Zustande gemischt, dann bilden sich kleine rhomboëdrische Krystalle *C*.

Fig. 69.



Kohlensaurer Kalk.

Im organischen Reiche erscheint der krystallisirte kohlensaure Kalk

Digitized by Google

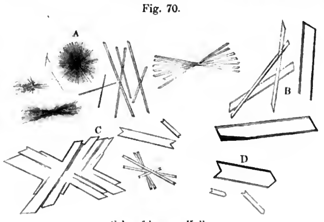
immer in der Kalkspathform und niemals in der Arragonitform. Die häufigste Form ist das Rhomboëder, wie *D* aus den Parenchymzellen des Holzes von *Cycas circinalis.* Die Flächenneigung an den Polkanten ist 101° 5'; der mit dem Mikrogoniometer gemessene Flächenwinkel, woraus der Neigungswinkel berechnet wird, beträgt 101° 54'.

Nicht selten kommt aber auch der kohlensaure Kalk als eine Vereinigung des Rhomboëders der Grundform mit dem sechsseitigen Prisma vor, kurze dicke Säulen bildend, oder als Skalenoëder für sich allein oder mit Prismen vereinigt. *E* sind Krystalle aus dem Rückenmarkskanale des Frosches; *F* sind Kalkkrystalle, welche verschiedene Süsswasseralgen incrustirten.

In der That kommt dieser Körper in so vielen Formen vor (Hauy zählte schon 154, Bournon aber 700 Varietäten des Kalkspaths auf), dass man ihn nicht immer leicht aus der Krystallform zu erkennen vermag. Etwaige Zweifel lassen sich dann leicht heben, wenn man verdünnte Salpetersäure oder Salzsäure zusetzt: die Krystalle werden dadurch aufgelöst und es entwickeln sich Luftbläschen von kohlensaurem Gas.

15. Schwefelsanrer Kalk (Fig. 70). Die Krystalle dieses Salzes gehören zum monoklinischen Systeme. Wird eine Kalksolution mit einem

Fig. 70.



Schwefelsaurer Kalk.

schwefelsauren Salze auf einer Glastafel vermischt, so entstehen zahlreiche, ungemein kleine nadelförmige Krystalle (*A*), die sich zu sternförmigen oder sanduhrförmigen Gruppen vereinigen, deren nähere Gestalt aber wegen der Kleinheit sich nicht gut genauer bestimmen lässt. Kommen die Flüssigkeiten langsamer zusammen, dann bilden sich grössere Krystalle (*B*), nämlich lange abgeplattete sechsseitige Prismen, die an beiden Enden eine schiefe Endfläche haben. Den spitzen Winkel an dieser Stelle bestimmte C. Schmidt zu 52° 26'.

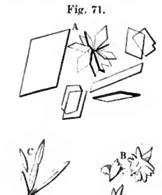
Digitized by Google

Neben diesen isolirten oder gruppenweise vereinigten Krystallen kommen auch vielfältig Zwillinge vor, die für den schwefelsauren Kalk sehr charakteristisch sind und die auch in Pflanzengeweben (Musaceen, Zingiberaceen, Scitamineen) nicht selten angetroffen werden. Es giebt aber zwei Hauptformen dieser Zwillingskrystalle, zuerst nämlich jene (*D*), wo durch einfache Verwachsung zweier Individuen ein Zwilling entstanden ist und die durchaus den bekannten Gypskrystallen des Montmartre mit einem einspringenden und einem ausspringenden Winkel gleichen, und dann noch eine zweite Form (*C*) mit einspringenden Winkeln.

Der schwefelsaure Kalk löst sich nur in sehr vielem Wasser, in etwa 460 Theilen; auch in Essigsäure, Salzsäure, Salpetersäure und Ammoniak ist er nur schwer löslich, in Alkohol und Aether unlöslich.

16. Phosphorsaurer Kalk (Fig. 71) zählt zwar zu den verbreitetsten Bestandtheilen der pflanzlichen und thierischen Gewebe, namentlich der letzteren, und kommt auch häufig in thierischen Flüssigkeiten vor; doch trifft man ihn nur sehr selten krystallisirt an.

Fig. 71.



Phosphorsaurer Kalk.

Wird einer Chlorcalciumsolution eine Auflösung von phosphorsanrem Natron oder phosphorsaurem Ammoniak zugesetzt, so entsteht ein Präcipitat von neutralem phosphorsaurem Kalk; dasselbe ist ganz amorph und molekulärhäutig. Nach ein Paar Stunden verschwinden die Häute allmälig wieder und werden durch Krystalle (*A*) ersetzt, die in der stellenweise hell gewordenen Flüssigkeit entstehen. Diese Krystalle gehören znm monoklinischen Systeme, sie sind tafelförmig und viereckig, manchmal aber durch Abstumpfung der Kanten sechseckig. Häufig hängen sie mit den spitzen Winkeln gruppenförmig zusammen. Als Mittel aus fünf Messungen erhielt ich für die Winkel 56° 4′ und 125° 6′, während C. Schmidt 33° 25′ und 146° 35′ angiebt.

Wegen der geringen Winkelverschiedenheit können sie leicht mit den Krystallen des schwefelsauren Kalks verwechselt werden. Davon unterscheiden sich aber die Krystalle des noutralen phosphorsauren Kalks durch ihre vollkommene Unlöslichkeit im Wasser, während sie in Essigsäure, Salzsäure und Salpetersänre sich ganz leicht lösen. Die nämlichen Mittel reichen aus, um sie von den Harnsäurekrystallen zu unterscheiden.

Simon (*Handb. d. angewandten med. Chem.* II, Fig. 26) bildet Krystalle von phosphorsaurem Kalke aus einem Harnsedimente ab, die zwar

Digitized by Google

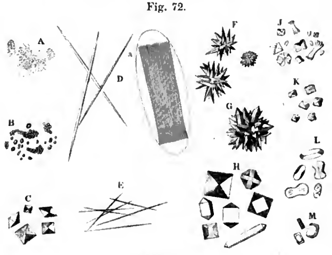
sehr klein und unregelmässig sind (Fig. 71, *B*), aber doch zu der nämlichen Grundform, wie die oben genannten, zu gehören scheinen.

Einmal fand ich in den Sputis bei einer chronischen Bronchitis Krystalle (*C*), die sich weder in Wasser, noch in Aether und Alkohol lösten, wohl aber in Essigsäure, in Salzsäure und Salpetersäure, mithin wahrscheinlich aus phosphorsaurem Kalke bestanden, wenn auch die Form von dem durch Präcipitation erhaltenen basischen Salze abweicht. Es waren nämlich Rhombenoctaëder mit einem Polflächenwinkel von 16°, und manche waren zwillingsartig verwachsen.

Werden Knochen durch Salpetersäure ausgezogen und wird der gelöste basisch-phosphorsaure Kalk daraus durch Ammoniak präcipitirt, so ist das Präcipitat amorph und besteht aus durchscheinenden häutigen Lappen, die selbst nach Verlauf mehrerer Tage keine Veränderung erleiden.

17. Oxalsaurer Kalk (Fig. 72). Die Krystalle dieses Körpers kommen zuweilen in Harnsedimenten vor, sehr allgemein aber gehören

Fig. 72.



Oxalsaurer Kalk.

sie zum Inhalte der Pflanzenzellen. Die Grundform ist ein Quadratoctaëder, und davon giebt es dreierlei Modificationen, die durch den Neigungswinkel der Flächen am Pole sich von einander unterscheiden. Dieser Winkel kann nämlich sehr stumpf sein und 119° 34′ betragen, oder er kann sehr spitz sein und 12° 14′ messen. Ausserdem kommen aber auch noch, wenngleich seltener, Octaëder dieses Salzes vor, wo der Neigungswinkel zwischen diesen beiden Extremen liegt und 46° 28′ misst. Die Axen dieser drei Formen verhalten sich nach C. Schmidt = 1 : 4 : 16. Die beiden mehr abgestumpften Octaëder kommen sowohl für sich vor

Digitized by Google

(*C* aus einem Harnsedimente, *H* aus den Parenchymzellen von *Tradescantia ciliata*, *K* aus Guano), als in Gemeinschaft mit einem vierseitigen Prisma, das gewöhnlich kurz und dick ist. Die stärker zugespitzten Octaëder sind immer mit einem solchen Prisma zu langen Nadeln verbunden (*D* sind sogenannte Raphiden aus den Parenchymzellen von *Agave americana*, *E* dergleichen aus dem Stengel der *Phytolacca decandra*), und in der unverletzten Pflanzenzelle (*D a* eine Zelle vom Blattstiele der *Musa paradisiaca*) liegen sie bündelweise zusammen. Die Octaëder mit mittelstumpfen Winkeln (46° 28′) kommen selten für sich allein vor, sondern gewöhnlich sind sie zu Krystalldrusen vereinigt, die in der Regel eine grosse Anzahl Individuen enthalten, so *F* aus dem Parenchym von *Opuntia microdasys*, *G* aus jenem von *Yucca aloëifolia*.

Wird eine Kalksalzsolution mit einer Auflösung von oxalsaurem Ammoniak gemischt, so ist das entstehende Präcipitat immer amorph. Es besteht aus sehr kleinen, nur wenig zusammenhängenden Molekeln (*A*), die sich nach einiger Zeit zu grösseren, gruppenweise vereinigten Kügelchen (*B*) sammeln, und diese erleiden dann keine fernere Veränderung. Erfolgt aber die Präcipitation durch saures oxalsaures Kali, dann ist der entstandene oxalsaure Kalk krystallinisch (*J*) und besteht meistens aus kleinen Octaëdern, die zu den stumpfspitzigen gehören. Manchmal sieht man die Verbindung mit einem Prisma, und ausserdem bilden sich auch kleine Krystalldrusen, die aus sehr kleinen verwachsenen Nadeln zu bestehen scheinen. Einzelne Octaëder erscheinen, durch Abstutzung der Winkel, als kleine achteckige Sternchen; andere haben eine noch stärker unregelmässige Form. Vielleicht gehört hierher die von Golding Bird (*On urinary Deposits* 1844, p. 123) beschriebene und in Fig. 72 unter *L* abgebildete Sanduhrform, unter welcher die Krystalle des oxalsauren Kalks manchmal in Harnsedimenten vorkommen sollen. Auch die unter *M* abgebildeten Krystalle, die ich zugleich mit harnsaurem Ammoniak und freier Harnsäure in einem Harnsedimente fand, gehören wahrscheinlich zu dieser Form.

Der oxalsaure Kalk ist ganz unlöslich in Alkohol, in Aether, in Ammoniak, in Aetzkali, desgleichen in Essigsäure, auch wenn diese concentrirt ist, dagegen leicht löslich in Salpetersäure und Salzsäure. Durch die letztgenannte Eigenschaft kann er vom schwefelsauren Kalke unterschieden werden, dessen Krystalle, wenn sie dünn und nadelförmig sind, mit den Raphiden des oxalsauren Kalks verwechselt werden können. Da indessen der schwefelsaure Kalk in diesen Säuren nicht durchaus unlöslich ist, so darf immer nur eine sehr geringe Menge von einer der beiden Säuren den zu untersuchenden Krystallen zugesetzt werden. An der Löslichkeit in Salz- und Salpetersäure erkennt man aber auch solche oxalsaure Kalkkrystalle, welche, wie die unter *M* dargestellten, mit manchen Formen der Harnsäure einige Aehnlichkeit haben, während die Un-

Digitized by Google

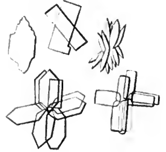
löslichkeit in Essigsäure zur Unterscheidung von den Krystallen der phosphorsauren Ammoniakbittererde dient.

Zur Bestimmung der Krystalle dient endlich auch noch das Verbrennen, entweder auf einer Objecttafel, oder, wenn man eine hinreichende Menge Krystalle sammeln kann, auf einem kleinen Platinbleche. Der oxalsaure Kalk wird dabei, gleich anderen eine organische Säure enthaltenden Kalksalzen, in kohlensauren Kalk umgewandelt und dieser braust mit Säuren auf.

Sind die Octaëder aus einer verdunstenden Flüssigkeit entstanden, so können sie mit solchen von Chlornatrium verwechselt werden. Die letzteren sind aber regelmässige Octaëder, und jene des oxalsauren Kalkes sind Quadratoctaëder, was man beim Rollen eines Krystalles erkennen kann. Beim Zusatze der geringsten Menge Wasser schwindet übrigens alsbald jede Ungewissheit.

18. Phosphorsaure Bittererde (Fig. 73). Da dieses Salz in Wasser ziemlich löslich ist, so findet es sich krystallisirt nur selten, wenn

Fig. 73.



Phosphorsaure Bittererde.

Fig. 74.



Bibasische phosphors. Bittererde.

überhaupt, in organischen Flüssigkeiten vor, wenngleich es im amorphen Zustande in die Zusammensetzung der Knochen, mancher pathologischer steiniger Concremente, sowie auch der Samen der Gramineen eingeht. Doch ist es hier mit anderen Körpern verbunden, die seine Löslichkeit beschränken.

Wird eine concentrirte Auflösung von schwefelsaurer Magnesia mit einer solchen von phosphorsaurem Natron gemischt, so entsteht ein amorphes häutiges Präcipitat, welches nach einiger Zeit wieder verschwindet, und an seiner Statt erscheinen tafelförmige Krystalle, meistens in sternförmigen Gruppen. Viele von diesen Krystalltafeln sind rectangulär, andere sind unregelmässig sechseckig. Wahrscheinlich gehören sie zum rhombischen Systeme.

Einige Aehnlichkeit haben sie mit den Krystallen des phosphorsau-

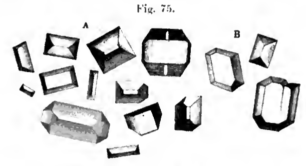
Digitized by Google

ren Kalkes und der Harnsäure. Die Löslichkeit in Wasser gestattet aber eine leichte Unterscheidung.

Wenn auch in der Grundform mit den vorhergehenden übereinstimmend, unterscheiden sich doch im Ganzen davon die Krystalle der bibasischen phosphorsauren Bittererde (Fig. 74), die man erhält, wenn man Solutionen von schwefelsaurer Magnesia und von bibasischem phosphorsaurem Ammoniak mit einander mischt. Die rhombischen Tafeln dieses Salzes kommen selten für sich vor, in der Regel verwachsen sie unter einander zu zusammengesetzten Figuren, die meistens aus symmetrisch zu beiden Seiten einer Axe befindlichen lanzettförmigen Krystallplättchen bestehen, welche durch gebogene Linien begrenzt werden.

19. Phosphorsaure Ammoniakbittererde (Fig. 75) kommt sehr häufig in thierischen Substanzen vor, namentlich bei übermässiger Ammoniakbildung, und ihre Krystalle (*A* aus einem Harnsedimente) lassen sich durch die charakteristische Form leicht erkennen. Zwar zeigen die verschiedenen Krystalle noch mancherlei Differenzen; alle aber lassen

Fig. 75.



Phosphorsaure Ammoniakbittererde.

sich auf die Grundform des rhombischen Verticalprisma zurückführen, oder auf die hemiëdrische Form des dreiseitigen Prisma mit geraden oder geneigten Endflächen. Die Mehrzahl der Krystalle gehört der letzteren Form an.

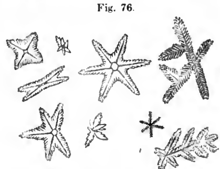
Krystalle von gleicher Form (*B*) wie jene, die im Harne, in den Fäces u. s. w. vorkommen, kann man erhalten, wenn man phosphorsaurer Magnesia Chlorammonium zusetzt.

Eigenthümlich gestaltet sind die Krystalle der bibasischen phosphorsauren Ammoniakbittererde (Fig. 76 s. f. S.), die in faulendem Harne meistens spontan auftreten und alsbald erscheinen, wenn gesundem Harne im Uebermaass Ammoniak zugesetzt wird. Es sind dendritische Figuren, die mehr oder weniger zusammengesetzt sind. Manche haben etwas Sternförmiges mit vier bis sechs Strahlen von farrenblattartigem Aussehen. Andere bestehen aus einer Vereinigung mehrerer

Digitized by Google

Axen, von denen wieder Nebenaxen abgehen, denen kurze krystallinische Blättchen meistens in schiefer Richtung aufgesetzt sind.

Fig. 76.



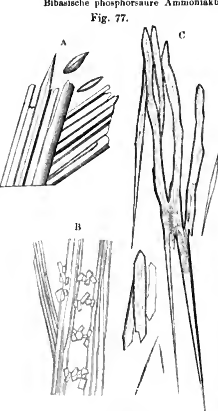
Bibasische phosphorsaure Ammoniakbittererde.

Ganz gleiche Bildungen entstehen, wenn einer Mischung von Ammoniak und bibasischem phosphorsaurem Ammoniak ein Magnesiasalz zugesetzt wird.

Charakteristisch für dieses Doppelsalz ist seine Löslichkeit in Säuren, selbst in Essigsäure.

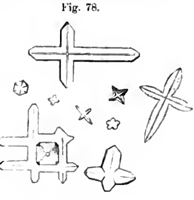
20. **Harnstoff** (Fig. 77). Wenn der Harnstoff aus einer wässerigen Solution herauskrystallisirt, so bildet er ziemlich lange, selten regelmässig begrenzte Prismen, die nach C. Schmidt zum rhombischen Systeme gehören. An dem auf einem Objecttäfelchen krystallisirenden Harnstoffe ist aber diese Form nur schwer mit Bestimmtheit zu erkennen. Charakteristisch ist die Vereinigung dieser Prismen zu platten Bündeln, denen wieder andere unter spitzem Winkel aufgesetzt sind (*A* und *B*). Oftmals liegen zwischen den einzelnen Bündeln

Fig. 77.



Harnstoff.

Fig. 78.



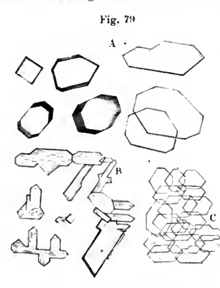
Harnstoff mit Chlornatrium.

Gruppen von kurzen prismatischen Krystallen (*B*). Ist die Solution stärker verdünnt, so erfolgt die Krystallisation auf einem Objecttäfelchen mit mehr Unregelmässigkeit und es entstehen verästelte Figuren (*C*), die hin und wieder in sehr lange scharfe Spitzen auslaufen. Dünne, isolirte Nadeln kommen zerstreut darunter vor.

Enthält die Solution des Harnstoffs gleichzeitig Chlornatrium, so erhält man Krystalle dieses Doppelsalzes (Fig. 78), die von jenen der beiden zusammensetzenden Substanzen sehr verschieden sind. Immer ist die Kreuzform bei denselben vorherrschend. In der Regel sind es einzelne Kreuze mit vier rechtwinkelig verbundenen Armen. Oftmals sind aber auch die Formen mehr zusammengesetzt.

21. Salpetersaurer Harnstoff (Fig. 79). Wird eine etwas concentrirte wässerige Harnstoffsolution mit Salpetersäure gemischt, so entstehen Krystalle (*A*), die ursprünglich Rhombenoctaëder sind, meistens aber in rhombische und sechsseitige Tafeln mit spitzen Winkeln von 82° sich umgeändert haben. Einzelne Krystalle liegen isolirt da, andere sind unter einander verbunden (*B*) und haben manchmal dendritische Gestalten, an denen man aber immer noch die Ecken der rhombischen Tafeln erkennen kann; dadurch gerade unterscheiden sie sich von den dendritischen Krystallisationen der Ammoniaksalze.

Fig. 79



Salpetersaurer Harnstoff.

Wird eine schwächere Harnstoffsolution, etwa gewöhnlicher Harn, mit Salpetersäure gemischt, so dass der salpetersaure Harnstoff gelöst bleibt, der sich dann beim Verdunsten auf einem Glastäfelchen absetzt, so haben die Krystalle (*C*) die nämliche Form, die Tafeln sind aber dünner und meistens unter einander zusammenhängend.

Ueber die Charaktere, wodurch man den salpetersauren Harnstoff vom salpetersauren Natron unterscheiden kann, ist beim letztgenannten Salze gehandelt worden.

22. Oxalsaurer Harnstoff (Fig. 80 a. f. S.). Die Krystalle dieses Salzes sind kürzere oder längere Prismen, die zum monoklinischen

Digitized by Google

Systeme gehören. Die schiefen Endflächen auf beiden Seiten sind in der Regel sehr hervortretend und charakteristisch. Der Spitzenwinkel misst 96°. Wenn sich das Salz auf einem Objecttäfelchen niederschlägt, so kommen unter den grösseren prismatischen Krystallen gewöhnlich auch einige kleinere Zwillingskrystalle (*a*) vor, welche durch Zusammenwachsen zweier Octaëder der Grundform entstanden sind.

Fig. 80.



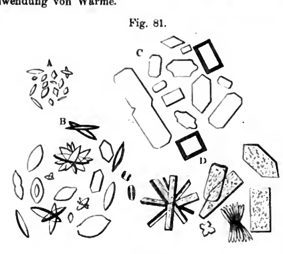
Oxalsaurer Harnstoff.

23. Harnsäure (Fig. 81). Die Grundform der zum rhombischen Systeme gehörigen Krystalle dieser Säure ist ein rhombisches Verticalprisma. Dasselbe tritt aber in mehrfachen Modificationen auf, die zum grossen Theile in den Abbildungen dargestellt sind.

A sind kleine Krystalle, die auf der Objecttafel beim Zersetzen eines Sediments von harnsaurem Ammoniak durch Essigsäure entstanden sind.

B sind ebenfalls Krystalle, die beim Zersetzen eines aus harnsaurem Ammoniak bestehenden Harnsediments durch Essigsäure entstanden, aber unter Anwendung von Wärme.

Fig. 81.



Harnsäure.

C sind Harnsäurekrystalle, wie sie im natürlichen Zustande in den Excrementen der *Boa constrictor* vorkommen.

D sind Krystalle, bei deren Bildung Salzsäure auf eine weisse, ziem-

lich harte steinartige Masse einwirkte, die man hin und wieder im Boden der Molukken antrifft und die ganz aus harnsaurem Ammoniak und einer geringen Menge harnsauren Natrons besteht.

Die Harnsäurekrystalle sind im reinen Zustande ganz farblos. Die aus dem sogenannten *Sedimentum lateritium* stammenden indessen sind durch Harnfarbstoff (*Uroërythrine*) roth gefärbt, oder wenn man sie bei durchfallendem Lichte durchs Mikroskop betrachtet, erscheinen sie röthlich gelb *).

Bei der am häufigsten vorkommenden Form, den länglichen sechseckigen Tafeln, misst der spitze Winkel 99° 20′, oder nach C. Schmidt 91°.

Von den Krystallen anderer Substanzen, mit denen sie einige Aehnlichkeit haben, unterscheiden sie sich leicht durch die sehr geringe Löslichkeit in Wasser (es sind mehr denn 1000 Theile nöthig), desgleichen aber auch in Essigsäure, in Salzsäure und in kalter Salpetersäure. In starker Schwefelsäure sind sie löslich und ebenso in warmer Salpetersäure, wobei sie aber eine Zersetzung erfahren. Wird die Lösung in der letztgenannten Säure auf einem Glastäfelchen abgedampft, so bleibt ein rother Fleck zurück; bringt man dann auf diesen Ammoniak, so entsteht eine lebhafte purpurrothe Färbung und nun löst sich die Substanz (*Murexid*) mit gleicher Farbe leicht in Wasser.

Die harnsauren Salze, wie sie in frischen Sedimenten vorkommen, sind meistens amorph. Nach einiger Zeit jedoch erscheinen sie mehr oder weniger deutlich krystallinisch.

Fig. 82.

A B C

Harnsaures Ammoniak.

24. Harnsaures Ammoniak (Fig. 82) ist zuerst amorph-molekulär (*A*). Im sauren Harne jedoch wird es, wie Rayer (*Maladies des reins.* Par. 1839. Pl. 2) zuerst nachgewiesen hat, allmälig in grössere Kügelchen (*B*) umgewandelt, die sich weiterhin noch mit Nadeln bedecken (*C*).

Fig. 83.



Harnsaures Natron.

25. Harnsaures Natron (Fig. 83) ist zuerst auch amorph, bildet aber dann ebenfalls durch Vereinigung der Molekeln Kügelchen (*A*), die mit den sogenannten Entzündungskugeln viele Aehnlichkeit haben, und deren Oberfläche sich weiterhin ebenso mit kleinen nadelförmigen Krystallen bedeckt (*B*). Nach C. Schmidt (*Säfte und Excrete* u. s. w. S. 35) verschwinden diese

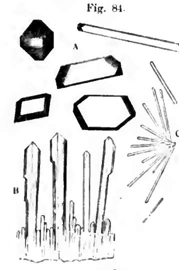
*) Heller (*Archiv f. phys. u. pathol. Chemie u. Mikroskopie.* 1844. S. 16) gedenkt eines Falles, wo die durch Salzsäure aus dem Harne abgeschiedenen Harnsäurekrystalle bei auffallendem Lichte violettroth und bei durchfallendem Lichte schön blau erschienen, und schreibt dies der Beimischung eines eigenthümlich veränderten Gallenfarbstoffes zu.

Digitized by Google

Kügelchen späterhin wieder, um durch kurze sechsseitige Prismen (*C*) ersetzt zu werden.

26. Hippursäure (Fig. 84). Bilden sich die Krystalle dieser Säure auf einem Objecttäfelchen aus einer wässerigen Solution durch Verdunstung, so treten sie theils isolirt auf (*A*), theils sind sie auch unter einander verwachsen (*B*). Die Grundform ist das Rhombenoctaëder; durch Abstumpfung der Kanten und Ecken wird dieses aber auf mannigfache Weise modificirt. Manche Krystalle sind tafelförmig, die meisten aber prismatisch. Diese Form haben sie auch meistens, wenn sie durch Verdunstung einer ätherischen Solution entstehen, in welchem Falle die Krystalle zu Gruppen prismatischer Nadeln vereinigt zu sein pflegen, die von einem gemeinschaftlichen Mittelpunkte aus divergiren (*C*).

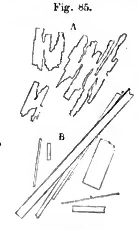
Fig. 84.



Hippursäure.

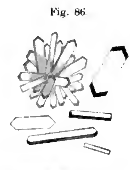
27. Benzoësäure (Fig. 85). Wenn die in der Siedhitze gelöste Benzoësäure langsam erkaltet, so bilden die sich präcipitirenden Krystalle lange vierseitige Prismen oder dünnere Krystalltafeln (*B*), beide mit rechtwinkeligen Endflächen. Erfolgt dagegen die Erkaltung auf einem Objecttäfelchen rasch, so bilden sich sehr dünne Krystalltafeln (*A*), an denen

Fig. 85.



Benzoësäure.

Fig. 86



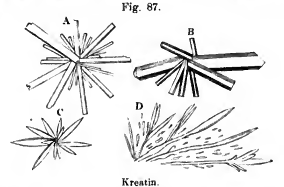
Milchsaures Zinkoxyd.

noch hier und da die geradlinigen Ränder vorkommen, welche den durch langsame Krystallisation entstandenen Tafeln entsprechen.

28. **Milchsaures Zinkoxyd** (Fig. 86). Die Krystalle dieses Salzes gehören zum rhombischen Systeme. Es sind Verticalprismen mit geraden Endflächen oder mit gerade angesetzten Horizontalprismen, die meistentheils zu sternförmigen Gruppen vereinigt sind *).

29. **Kreatin** (Fig. 87). Die gewöhnlichste Form der Kreatinkrystalle ist das rechteckige Prisma, welches hin und wieder schiefe End-

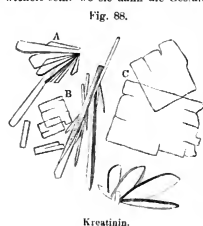
Fig. 87.



Kreatin.

flächen besitzt, und zum klino-rhombischen Systeme gehört (*A* und *B*). Diese Prismen können auch nur in Einer Richtung vorzugsweise entwickelt sein, wo sie dann die Gestalt kürzerer oder längerer rechteckiger Krystalltafeln haben. Bei etwas rascherer Verdunstung entstehen auch Gruppen lanzettförmiger Krystallblättchen, mit gekrümmten Rändern und an beiden Enden zugespitzt (*C*). Erfolgt die Verdunstung noch rascher, so kommt es zu einer unregelmässigen Krystallisation (*D*), in der man aber noch die nämlichen lanzettförmigen Krystallblättchen erkennt, die meistens am Ende eines durch gebogene Linien begrenzten Streifens sitzen.

Fig. 88.



Kreatinin.

30. **Kreatinin** (Fig. 88). Die Krystalle gehören zum nämlichen

*) Nach **Engelhardt** (*Annal. d. Chem. u. Pharm.* Bd. 65, S. 395) kommt die Milchsäure in zwei isomeren Zuständen vor, als monobasische *a*-Milchsäure und als bibasische *b*-Milchsäure. Die Salze beider unterscheiden sich ebenfalls durch verschiedene Krystallisation. Das oben genannte Salz ist das *b*-milchsaure Zinkoxyd; denn das *a*-milchsaure bildet lange dünne Nadeln.

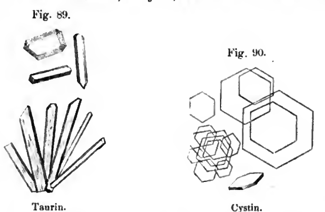
Systeme, wie jene des Kreatins, ja sie stimmen so nahe damit überein, dass eine Unterscheidung beider nicht immer leicht ist. Die gut entwickelten Prismen (A und B) haben aber ein charakteristisches Kennzeichen, welches den Kreatinkrystallen fehlt: sie sind mehr oder weniger keilförmig, d. h. an dem einen Ende merklich breiter als am andern. Auch die sehr dünnen rechteckigen Krystalltafeln (C), welche darunter vorkommen und so aussehen, als wären sie aus mehreren neben einander liegenden zusammengesetzt, kommen in dieser Form nicht unter den Kreatinkrystallen vor.

31. Taurin (Fig. 89). Die mikroskopischen Krystalle gleichen durchaus den grösseren Krystallen, welche Gmelin (Tiedemann u. Gmelin, *die Verdauung nach Versuchen*. Heidelberg 1826) schon sehr genau beschrieb. Es sind gerade rhombische Prismen mit 111° 44′ und 68° 16′ Flächenneigung, die durch das Rhombenoctaëder nnd das makrodiagonale Horizontalprisma geschlossen werden.

32. Cystin (Fig. 90). Die Krystalle sowohl, welche cystinhaltige Blasensteine zusammensetzen, als jene, welche aus der kalischen Cystin-

Fig. 89.

Fig. 90.



Taurin.

Cystin.

solution durch Essigsäure präcipitirt werden oder bei der Verdunstung der ammoniakalischen Solution zurückbleiben, erscheinen als dünne, regelmässig sechseckige Täfelchen. Schon durch die Form lassen sie sich daher leicht von Harnsäurekrystallen und anderen krystallinischen Substanzen unterscheiden, die in Harnsedimenten vorkommen können. Wäre man jedoch ungewiss, so erkennt man das Cystin leicht durch die Löslichkeit in Alkalien und in den mineralischen Säuren.

33. Stearin (Fig. 91). Gewöhnlich erhält man das Stearin dadurch, dass es sich aus einer kochenden alkoholischen Solution oder aus einer ätherischen Solution auf einem Objecttäfelchen niederschlägt, und zwar dann in amorphen Klümpchen (A). Wird dagegen das Stearin im

Grossen bereitet, so erhält man krystallinische Massen, die aus sehr feinen, bündelförmig vereinigten Nädelchen bestehen (*B*).

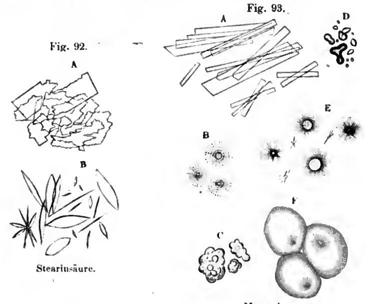
Fig. 91.



Stearin.

34. Stearinsäure (Fig. 92). Die Krystalle dieser Säure gehören zum rhombischen Systeme. Die Krystalle, welche bei der Znbereitung im Grossen erhalten werden (*A*), sind ganz dünne Täfelchen, die auf und durch einander liegen, und von denen nur wenige deutliche Ecken und Ränder besitzen. Wenn sich die Säure in einem Uhrgläschen aus einer siedenden alkoholischen Solution absetzt, so erhält man auch ganz durchsichtige längliche rhombische Tafeln mit gebogenen Rändern (*B*), die oftmals zu sternförmigen Gruppen vereinigt sind. Manche davon sieht man dann nur auf ihrer schmalen Kante, daher scheinbar als Nadeln. Giebt man ihnen eine andere Stellung, so dass sie sich umkehren, dann erkennt man diesen Irrthum.

35. Margarin (Fig. 93). Die bei der Bereitung im Grossen erhaltenen Krystalle (*A*) des ganz reinen Margarins gehören zum mono-



Stearinsäure.

Margarin.

klinischen Systeme, und haben viele Aehnlichkeit mit denen des schwefelsauren Kalkes; nur ist der spitze Winkel etwas grösser und misst 75°. Ferner sind diese Krystalle ungemein dünn und in der Regel mehr oder weniger bündelförmig zusammenhängend. Zwillinge kommen nicht vor.

Digitized by Google

Wird Margarin in siedendem Alkohol gelöst oder wird Menschenfett damit behandelt, so scheiden sich aus der erkaltenden Solution sternförmige Gruppen ungemein feiner Nadeln aus (*B*). Giesst man in diesem Momente dem Alkohol Wasser zu, so verschwinden die feinen Nadeln und man sieht nur Gruppen rundlicher zusammenhängender Körperchen (*C*) ohne krystallinische Structur, zugleich abgeplattet, das Licht wenig brechend und deshalb ohne dunkele Contouren. Verdunstet dann die Flüssigkeit, so bleiben unregelmässige Fetttröpfchen (*D*) zurück.

Krystallisirt das Margarin aus einer ätherischen Solution (*E*), dann sind die sternförmigen Gruppen der Margarinnadeln deutlicher und schärfer begrenzt, als wenn die Ablagerung aus Alkohol erfolgte.

Unter *F* sind die ganz damit übereinstimmenden Krystallgruppen abgebildet, die manchmal in den menschlichen Fettzellen vorkommen, namentlich dann, wenn dieselben eine Zeit lang in Weingeist aufbewahrt wurden.

36. Margarinsäure (Fig. 94). Die nadelförmigen Krystalle dieser Säure sind zu klein, als dass sich ihre Form mit Sicherheit bestimmen liesse; wahrscheinlich sind es aber rhombische Prismen. Sie sind immer zu Bündeln vereinigt, und zwar dergestalt, dass meistens zwei Bündel einander kreuzen, oder dass durch ihr Zusammentreten die ganze Gruppe sanduhrförmig wird.

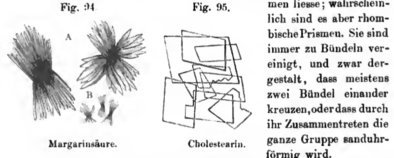


Fig. 94. Margarinsäure. Fig. 95. Cholestearin.

A sind Krystalle, die sich bei der Bereitung im Grossen durch langsame Ausscheidnng gebildet haben.

B sind Krystalle, die sich auf einem Objecttäfelchen aus einer siedenden alkoholischen Solution absetzten.

37. Cholestearin (Fig. 95). Die Krystalle dieser Substanz gehören zu jenen, die sich am leichtesten erkennen lassen. Es sind dünne, oftmals sehr grosse rhombische Tafeln, deren Ecken nach C. Schmidt 79° 30′ und 100° 30′ messen. Mikrochemisch erkennt man das Cholestearin an der Unlöslichkeit in Wasser, in Säuren und in Alkalien, so wie an der Löslichkeit in Alkohol und Aether. Dabei unterscheidet die Krystallform von den übrigen Fetten.

38. Neurostearin (Fig. 96). Mit diesem Namen will ich eins von den Fetten bezeichnen, die sich aus dem menschlichen Gehirne und Rückenmarke, wenn sie einige Tage in schwachem Weingeiste lagen, von selbst absetzen, und zwar in der Form weisser undurchsichtiger

rhombischer Prismen *). Von Cholestearinkrystallen, die bekanntlich ebenfalls im Gehirne und Rückenmarke gefunden werden, unterscheiden die Winkel von 75° und 105°, wozu auch noch eine häufige Abstumpfung der Ecken kommt, wodurch vielfach eine sechseckige Gestalt entsteht. Auch haben sie selten die Tafelform, welche für die Cholestearinkrystalle charakteristisch ist. Es sind diese Krystalle unlöslich in Wasser, in Salpeter- und Salzsäure. Werden Gehirn und Rückenmark, worin das Neurostearin enthalten ist, mit Aether oder mit heissem Alkohol ausgezogen, so löst sich dasselbe, und beim Erkalten fällt es nun im amorphen Zustande nieder. In gleicher Form präcipitirt es aus einer verdunstenden ätherischen Solution.





Neurostearin.



Häminkrystalle.

39. Blutkrystalle. Im Verlaufe der letzten Jahre sind aus dem Blute des Menschen und anderer Säugethiere mehrere krystallisirte Substanzen dargestellt worden: Haematokrystallin, wahrscheinlich die krystallisirte Proteïnsubstanz der Blutkörperchen, das Hämatin oder der Blutfarbestoff im krystallisirten Zustande; Hämin, wahrscheinlich eine Verbindung des vorigen mit Chlorwasserstoffsäure, und nur bei Anwesenheit von Chloralkalien sich bildend; Hämatoïdin, vermuthlich ein Zersetzungsproduct des Blutes, und wie es scheint mit einem Zersetzungsproducte eines Gallenfarbestoffs, des Cholepyrrhin, identisch.

Von diesen verschiedenen krystallisirten Substanzen berühre ich hier nur das durch Teichmann entdeckte Hämin (Fig. 97), einen in forensischer Beziehung wichtigen Stoff, weil man aus der Häminbildung kleine,

*) Ich habe diese Krystalle mit meinem verstorbenen Collegen Schroeder van der Kolk mehrfach untersucht. Sie finden sich oftmals in grosser Menge, so dass sie selbst die Untersuchung über die Znsammensetzung des Rückenmarks und Gehirns erschweren. Durch einen besondern Namen glaubte ich sie um so mehr nnterscheiden zu müssen, als ans den einander widersprechenden Untersuchungen von Couërbe und Frémy erhellt, dass die Kenntniss der Gehirnfette den nöthigen Grad von Klarheit und Sicherheit noch nicht erreicht hat. Möglich, dass durch weitere Untersuchungen dargethan wird, mein Neurostearin ist identisch mit Frémy's *Acide cérébrique.* Ausser diesen Krystallen und sogar in noch grösserer Menge als diese, setzen sich ans Gehirn und Rückenmark, die einige Zeit in Weingeist lagen, amorphe, gelblich gefärbte Fettklümpchen ab, die vielleicht aus dem *Acide oléophosphorique* von Frémy bestehen. — Nach den neueren Untersuchungen von Oscar Liebreich (*Annal. d. Chem. u. Pharm.* CXXXIV, S. 20) lassen sich die verschiedenen Gehirnfette auf eine Grnndsnbstanz zurückführen, die er Protagon genannt hat. Fernere Untersuchungen werden darüber Aufschluss bringen, wie sich das Protagon zum Neurostearin verhält, nnd ob beide vielleicht identisch sind.

ja auch schon sehr alte Blutflecken als solche zu erkennen im Stande ist. Man erhält das Hämin auch noch aus der kleinsten Menge getrockneten Blutes, wenn man dasselbe mit einer geringen Menge concentrirter Essigsäure oder Eisessig einige Minuten hindurch in einem Reagensgläschen oder in einem Uhrglase kocht und ein Körnchen reines Kochsalz zusetzt. Beim Erkalten und Verdunsten setzen sich dann die dunkelrothbraunen Kryställchen ab, auch wohl als mehr oder weniger regelmässige rhombische Täfelchen.

104 Ich wende mich jetzt zur Betrachtung der wichtigeren Substanzen, die bei mikrochemischen Untersuchungen organischer Körper vorkommen, und deren Anwesenheit durch Zusatz von Reagentien entdeckt werden kann, selbst wenn sie nur in unwägbar kleiner Menge vorhanden sind.

1. Proteïnverbindungen. Das Proteïn in seinen verschiedenen Combinationszuständen lässt sich immer durch concentrirte Salpetersäure nachweisen: es bildet sich die durch gelbe Färbung ausgezeichnete Xanthoproteïnsäure, und diese Färbung wird durch Zusatz von Aetzkali oder Ammoniak noch dunkeler, indem xanthoproteïnsaure Alkalien auftreten. Die Anwendung dieses durch G. J. Mulder nachgewiesenen Reagens verlangt aber einige Cautelen, deren hier gedacht werden muss.

Die Salpetersäure eignet sich besonders zum Nachweis von Proteïnverbindungen, die sich im festen Zustande befinden, also zur Unterscheidung organischer Muskelfasern von anderen Fasern, die zu den leimgebenden Geweben gehören, wie etwa die Bindegewebsfasern. Dabei darf man aber nicht vergessen, dass in der Ernährungsflüssigkeit immer Proteïnverbindungen vorkommen, um nicht durch die gelbe Färbung irregeführt zu werden, welche durch Salpetersäure in allen thierischen Geweben entsteht, selbst in jenen, deren Elementartheile kein Proteïn enthalten. Die Xanthoproteïnsäure und besonders deren Salze sind ausserdem in Wasser löslich, weshalb sich die Farbe des einen Theiles leicht dem benachbarten mittheilt. Zur Vermeidung von Irrthümern muss daher das zu untersuchende Gewebe wiederholt mit Wasser ausgezogen und womöglich damit geknetet werden, um vorher jegliche Nutritionsflüssigkeit in der Umgebung der Elementartheile zu entfernen. Tritt dann beim Zusatze starker Salpetersäure in den isolirt daliegenden Fasern eine gelbe Färbung hervor, die beim Zusatze von Alkalien noch zunimmt, so ist man sicher, dass diese Fasern selbst Proteïn enthalten.

Noch schwerer fällt die Entscheidung, ob die durch Salpetersäure in organischen Zellen entstehende gelbe Färbung der Zellenmembran oder dem Zelleninhalte zugeschrieben werden muss, namentlich wenn die erstere sehr dünn ist, wie es in der Regel bei thierischen Zellen der Fall zu sein pflegt. Man muss dann zu noch anderen Reagentien greifen, die alsbald genannt werden sollen. Haben übrigens die Zellenwände eine erhebliche

Dicke, wie die der verholzten Pflanzenzellen, dann erkennt man das Vorhandensein von Proteïn leicht auf den Durchschnitten.

Befinden sich Proteïnsubstanzen im gelösten Zustande, dann ist es oftmals nicht möglich, die gelbe Färbung der entstandenen Xanthoproteïnsäure oder selbst ihrer Salze wahrzunehmen, weil dieselben in Wasser löslich sind, so dass die Farbe unmerklich wird, wenn die Auflösung sehr verdünnt ist. In einem solchen Falle muss daher erst das überschüssige Wasser durch Verdunstung entfernt werden, oder aber durch Coagulation, wenn Eiweiss in der Lösung ist.

Auch erinnere ich an die oben (§. 40) gegebene Vorschrift, dass man nämlich bei solchen Untersuchungen keine zu starke Vergrösserung anwende, weil eine Grössenverstärkung hier den nämlichen Einfluss übt als eine Verdünnung durch Wasserzusatz.

Ein anderes Reagens, das in vielen Fällen zur Entdeckung von Proteïnverbindungen führt, ist die concentrirte Salzsäure; dieselbe erzeugt eine schwärzlich-violette Färbung. Nur entsteht diese Färbung nicht auf der Stelle, gleich der gelben Färbung von Salpetersäure, sondern erst nach einem bald kürzeren, bald längeren Zeitraume; es muss daher der zu untersuchende Körper ein Paar Stunden mit der Salzsäure in Berührung sein, am besten in einem mit einem Glastäfelchen bedeckten Glastroge oder in einem Uhrglase. Erwärmung fördert die Färbung. Diese langsame Einwirkung ist allerdings ein Nachtheil, wodurch dieses Reagens der Salpetersäure nachsteht; andererseits hat aber die Salzsäure wieder den Vorzug, dass sie eine weit dunklere und deshalb auch leichter erkennbare Färbung hervorruft, so dass sie Proteïn noch da nachweisen kann, wo Salpetersäure dies nicht mehr vermag. Die Blutkörperchen z. B. zeigen kaum eine Spur von Farbenänderung bei Zusatz von Salpetersäure, werden dagegen in Salzsäure grünlich-schwarz, indem sich die ursprüngliche gelbrothe Farbe mit der schwärzlich-violetten durch das Reagens bedingten vermischt.

Ich muss indessen beifügen, dass in manchen Fällen die Proteïnsubstanzen nur wenig durch Salzsäure gefärbt werden, man also dann zur Annahme eines geringen Proteïngehaltes verführt werden könnte, während dagegen die Reaction von Salpetersäure und Ammoniak eine viel gleichmässigere ist und immer zu der vorhandenen Proteïnmenge im Verhältniss steht.

Uebrigens gelten die nämlichen Cautelen bei der Salzsäure, wie bei der Salpetersäure, wenn man nicht durch den Proteïngehalt der Ernährungsflüssigkeit irre geleitet werden will.

Es sind aber noch zwei andere Reagentien auf Proteïnsubstanzen empfohlen worden. Zunächst empfahl Millon (*Comptes rendus*, Vol. 28, p. 40) eine Solution von Quecksilber in der gleichen Gewichtsmenge Salpetersäure, die $4\frac{1}{2}$ Aequivalente Wasser enthält. Proteïnsubstanzen,

mögen sie sich im gelösten oder im festen Zustande befinden, nehmen darin eine rothe Farbe an, namentlich wenn sie auf 60° bis 100° C. erwärmt werden. Nach eigener Erfahrung kann ich das bestätigen. Ich habe aber auch beobachtet, dass die Erwärmung in den meisten Fällen ein nothwendiges Erforderniss ist. Das erschwert einigermaassen die Anwendung dieses Prüfungsmittels bei mikrochemischen Untersuchungen, und in der Empfindlichkeit scheint es mir doch nicht über der Salpetersäure zu stehen.

Ein anderes Reagens, welches von Schultze (*Annal. der Chem. und Pharm.* LXXI, S. 266) empfohlen wurde, entspricht diesen Erfordernissen besser. Schultze fand nämlich, wenn er einer Proteïnsubstanz Zuckersolution und hierauf concentrirte Schwefelsäure zusetzte, dass dann eine dunkelrothe Färbung auftrat, ganz so wie es bei der Galle der Fall ist. Er scheint aber nicht gewusst zu haben, dass Raspail (*Nouveau système de Chimie organique*, 1833, p. 289) diese Färbung schon vor vielen Jahren bemerkt und zur Erkennung des Zuckers sowohl als des Eiweisses empfohlen hatte. Schultze weist zugleich auf die ganz gleiche Färbung elaïnhaltiger Fette und Oele hin, sobald Eiweiss und Schwefelsäure damit zusammentreffen; allein auch dieses Factum war Raspail bereits bekannt. Aus dem Angeführten ersieht man schon, dass dieses Reagens nicht zu jenen gehört, auf die man sich mit grosser Sicherheit verlassen kann, zumal wenn man bedenkt, dass es ausser den genannten Substanzen wahrscheinlich noch andere giebt, die durch eine so beftig wirkende Substanz wie die Schwefelsäure eine gleiche oder wenigstens nahekommende Farbenveränderung erleiden. Vom Salicin z. B. weiss man das schon seit längerer Zeit. Gleichwohl ist jenes Reagens bei mikrochemischen Untersuchungen nicht ganz zu verwerfen, namentlich nicht in jenen Fällen, wo die Proteïnmenge unbedeutend ist und die schwächere Färbung der Xanthoproteïnsäure deshalb nur wenig in die Augen fallen würde. Am besten verfährt man, wenn man das Object mit einem Tropfen ziemlich starker Zuckersolution anfeuchtet, alsdann mit einem Deckgläschen bedeckt und nun einen Tropfen concentrirte Schwefelsäure an den Rand bringt, die allmälig unter das Deckgläschen dringt.

Bekannt ist es, dass Eiweiss und die anderen in gelöstem Zustande vorhandenen Proteïnverbindungen mit den meisten Mineralsäuren und den meisten Metallsalzen Präcipitate bilden. Alle diese Präcipitate sind amorph und wenig geeignet, zur Erkennung des Proteïns bei mikrochemischen Untersuchungen beizutragen. Deshalb übergehe ich hier die Einzelnheiten über die Wirkungsweise dieser Körper und muss den Leser auf die chemischen Hand- und Lehrbücher verweisen.

Es sind aber noch zwei Reagentien hier zu erwähnen, nämlich die Aetzkalisolution und die concentrirte Essigsäure. In beiden lösen sich die Proteïnverbindungen, im Gegensatz zu den leimgebenden Ge-

weben, welche darin nur aufschwellen und gallertartig werden, während die Fasern des elastischen Gewebes keinerlei Veränderung dadurch erleiden.

Indessen hüte man sich, in einem derartigen Falle zu rasch ein Urtheil zu fällen, da die Löslichkeit der verschiedenen Proteïnverbindungen in diesen Reagentien sehr variirt und dieselben manchmal längere Zeit hindurch widerstehen, namentlich der Essigsäure. Das Aetzkali wendet man am besten in einer starken, nahezu saturirten Solution an. Wenn das zu untersuchende Gewebe ein Paar Stunden darin liegt und späterhin dann Wasser zugesetzt wird, so lösen sich alle Proteïnsubstanzen. Auf diese Weise vermag man nicht blos die chemische Beschaffenheit der verschiedenen aus Fasern zusammengesetzten Gewebe zu erkennen, sondern man kann auch vielleicht darüber ins Klare kommen, ob die eben genannte gelbe Färbung, welche an manchen thierischen Zellen durch Salpetersäure auftritt, der Zellenwand oder dem Zelleninhalte zuzuschreiben ist. Werden nämlich die Wandungen solcher Zellen weder durch Essigsäure noch durch Kali gelöst, dann darf man annehmen, dass Proteïn entweder gar nicht oder nur in geringer Menge in ihre Zusammensetzung eingeht.

Meistens lässt es sich nicht durch einzelne mikrochemische Prüfungsmittel feststellen, mit welcher Proteïnverbindung man es zu thun hat. Dies gilt namentlich von allen festen Proteïnsubstanzen: coagulirtes Eiweiss, Faserstoff, *Crusta pleuritica*, die Substanz der quergestreiften und der unwillkürlichen Muskelfasern u. s. w. lassen sich durch keinerlei bestimmte Reactionen von einander unterscheiden, ungeachtet ihre chemische Zusammensetzung nicht eine ganz identische ist. Unter den gelösten Proteïnsubstanzen erkennt man das Eiweiss an seiner Eigenschaft, durch Wärme zu coaguliren; ist dagegen Caseïn zugegen, so erzeugt Essigsäure in der Flüssigkeit ein Präcipitat, welches durch Zusatz von mehr Säure sich wieder löst. Oxalsäure, Weinsteinsäure und Phosphorsäure verhalten sich aber eben so.

Wir kennen nur erst eine geringe Anzahl von Proteïnverbindungen, und mit ziemlicher Sicherheit steht zu erwarten, dass durch fernere Untersuchungen eine grössere Anzahl derselben bekannt werden wird, die sich durch geringe, aber deshalb nicht weniger wesentliche Modificationen der Zusammensetzung und des chemischen Verhaltens vor anderen Substanzen auszeichnen, wodurch die Unterscheidung von den übrigen ermöglicht wird.

2. Amylum. Dieser Körper kommt in einem doppelten Zustande vor, nämlich geformt und amorph. Beide geben sich leicht zu erkennen bei Zusatz von Jod, mag dieses in Alkohol gelöst sein, oder in einer Jodkaliumsolution einwirken. Die letztgenannte Anwendungsweise des Jods verdient in vielen Fällen den Vorzug, weil sich die alkoholische Tinctur

Digitized by Google

nicht so leicht mit den wässerigen Flüssigkeiten mischt, worin das Amylum vorkommt, als eine Jodkaliumsolution. Die einzige Vorsicht, die man beim Gebrauche dieses Reagens zu nehmen hat, ist die, dass man, wenn die zu untersuchende Substanz alkalisch reagirt, vorher eine verdünnte Säure zusetzt, gleichgültig welche, weil durch die Anwesenheit freien oder kohlensauren Alkalis die Bildung von Jodamylum behindert wird.

Das geformte Amylum kommt unter sehr verschiedenen Gestalten vor, je nach den Pflanzen, von denen es stammt: als unregelmässig länglich rundliche Körperchen mit deutlich concentrischen Schichten, die um einen excentrischen Kern gelagert sind (Amylum aus Kartoffeln), oder als bestimmte runde Körner von verschiedener Grösse und ohne concentrische Schichten (Amylum aus Weizenmehl u. s. w.), oder auch als vieleckige krystallartige Körperchen (Amylum der Cycadeen u. s. w.). Ein geübter Beobachter kann oft schon auf den ersten Blick die Pflanzenart erkennen, von welcher das Amylum kommt, und wer sich auf mikroskopische Untersuchungen legen will, der sollte sich darin die nöthige Fertigkeit erwerben, weil das Amylum zu den am häufigsten vorkommenden Elementen der Nahrungsmittel gehört und seine Körner nicht allein im Inhalte des Magens und der Gedärme, sondern zuweilen auch in den Sputa angetroffen werden.

Formloses Amylum kommt als solches nur selten in den Pflanzen vor; es bildet sich aus dem geformten bald durch Kochen, bald durch die chemische Einwirkung von Säuren oder Alkalien. Natürlicher Weise trifft man es vielfach im Inhalte des Magens und der Gedärme und hier wiederum im freien Zustande oder noch in Zellen eingeschlossen, worin die Körnchen ursprünglich enthalten waren.

3. Cellulose. Sie ist der gewöhnlichste Bestandtheil der Pflanzenzellenwand, kommt aber auch in manchen thierischen Geweben vor, und ist dadurch leicht zu erkennen, dass Cellulose, wenn Jod und Schwefelsäure nach einander einwirken, in Amyloïd umgewandelt wird, welches mit Jod eine ähnliche blaue Verbindung bildet, wie Amylum. (Mulder's *phys. Chemie.* Braunschweig, S. 431, und Schacht, *Annal. der Pharm.* XXXXVII, S. 157.) Die Bildung dieses Amyloïds ist aber wieder an gewisse Bedingungen geknüpft, die verschieden sind, je nachdem sich die Cellulose in der Zellenwandung in einem mehr oder weniger gemischten Zustande befindet. Die Schwefelsäure wandelt nämlich die Cellulose nur dann in Amyloïd um, wenn sie in einem bestimmten Verhältnisse durch Wasser verdünnt ist: ist die Wassermenge zu gering im Verhältniss zum Aggregationszustande, worin sich die Cellulose befindet, so wird die letztere sogleich in Dextrin umgewandelt; ist die Schwefelsäure zu stark mit Wasser verdünnt, so tritt gar keine Veränderung der Cellulose ein. Ausdrücklich darüber angestellte Versuche (*Holländ. Beiträge zu den anat.*

Digitized by Google

und phys. Wissenschaften I, S. 212) haben mich belehrt, dass die Umwandlung in Amyloïd beginnt, wenn auf 10 Theile Schwefelsäure 6 Theile Wasser kommen, und aufhört, wenn der nämlichen Säuremenge weniger als 2 Theile Wasser zugesetzt sind. Will man daher Untersuchungen über das Vorhandensein von Cellulose anstellen, so ist es gut, wenn man Mischungen von verschiedener Stärke, nämlich 10 Theile Säure mit 6, 5, 4, 3 und 2 Theilen Wasser in Bereitschaft hält, die man eine nach der anderen in Anwendung bringt.

Bei einer solchen Prüfung auf Cellulosegehalt muss das Object zuerst mit Jod durchtränkt werden. Am besten dient dazu die saturirte Jodtinctur; doch kann man auch eine Auflösung von Jod in Jodkalium nehmen. Dann lässt man das Object erst trocknen, ehe man die Säure aufgiesst. Hat diese nun die gehörige Stärke, so tritt bei Anwesenheit von Cellulose binnen weniger Minuten die bestimmte Farbenänderung ein: das Gewebe wird rein dunkelblau, wenn nur Cellulose oder ausserdem noch Pectose in den Zellenwänden enthalten ist; es tritt dagegen eine grünliche Färbung auf, wenn noch andere incrustirende Substanzen vorhanden sind, die für sich allein durch Jod und Schwefelsäure braun werden.

Zu gleichem Zwecke kann man auch die von Schultz empfohlene Mischung benutzen, nämlich eine concentrirte Chlorzinksolution, der soviel Jodkalium und Jod zugesetzt wird, als sich darin auflöst. Dadurch färbt sich die Cellulose ebenfalls blau. Schwefelsäure wirkt jedoch sicherer, wenngleich ihre Anwendung etwas umständlicher ist.

Bei diesen Reagentien darf aber nicht übersehen werden, dass das Nichtauftreten der blauen Färbung noch nicht als positiver Beweis gelten kann, dass keine Cellulose vorhanden ist. Bei sehr dünnen Zellenwandungen kann die durch Schwefelsäure oder Chlorzink bewirkte chemische Umwandlung so rasch erfolgen, dass die Zwischenstufe des Amyloïds gar nicht wahrnehmbar ist. Sind dagegen die Zellenwände sehr stark verholzt, dann kann die Reaction ausbleiben, weil die Cellulose durch die anderen in der Zellenwand vorhandenen Substanzen eingehüllt wird. Die letzteren müssen daher zuerst dadurch entfernt werden, dass man die Substanz einige Augenblicke in einer Aetzkalisolution kocht. Dadurch wird auch die Cellulose in Amyloïd umgewandelt, und nach stattgefundener Auswaschung des Kali tritt dann die blaue Färbung hervor, wenn Jodtinctur oder wenn eine Solution von Jod in Jodkalium zugesetzt wird.

Als ein Mittel, welches zur Erkennung der Cellulose und zur Aufhellung mancher Besonderheiten der Pflanzenstructur beitragen kann, ist hier auch die Lösung des Kupferoxydammoniaks zu nennen. Ed. Schweizer entdeckte, dass die Cellulose darin löslich ist, und C. Cramer benutzte es zuerst als mikrochemisches Reagens (*Vierteljahrsschrift*

Digitized by Google

der Züricher naturf. Gesellschaft, Bd. 2 und 3. — *Botan. Zeitung* 1858, Nr. 9). Nur reine Cellulose löst sich, nach vorgängiger Aufschwellung, ganz darin auf. Sind Cuticularschichten oder incrustirte Schichten mit der Cellulose verbunden und nur in etwas bedeutender Menge vorhanden, so können diese die Auflösung erschweren, ja wohl ganz verhindern, so dass nur die Aufschwellung eintritt. Werden dieselben aber vorher durch chlorsaures Kali und durch Salpetersäure entfernt, dann löst sich die rückbleibende Cellulose auf. Amylumkörner schwellen darin nur auf und färben sich blau; ihre Auflösung tritt nicht ein. Inulin löst sich ganz darin auf, ohne vorher aufzuquellen. Auch der *Utriculus internus* und die Kernkörperchen sind darin löslich.

4. Zucker. Es giebt vielleicht keinen zweiten Körper, für den so viele Reagentien als Erkennungsmittel anempfohlen worden wären, als für den Zucker. Ich übergehe die Gährung und den Polarisationsapparat, da beide nur bei grösseren Mengen Anwendung finden können, und rede blos von jenen, die sich zu mikrochemischen Untersuchungen eignen.

a. Trommer hat zuerst Folgendes nachgewiesen. Wird einer Traubenzuckersolution eine Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd zugesetzt und weiterhin eine frisch bereitete Aetzkalisolution im Ueberschuss, oder wird umgekehrt einer Flüssigkeit, welche Traubenzucker und Aetzkali enthält, schwefelsaures Kupferoxyd so lange zugesetzt, als sich das entstehende Kupferoxydhydrat wiederum auflöst, so entsteht nach einiger Zeit oder bei Einwirkung höherer Temperaturen alsbald ein Präcipitat von rothem Kupferoxydul. Noch besser eignet sich dazu eine Lösung von basisch-essigsaurem Kupferoxyd, die mit einer Solution von Weinsteinsäure oder von doppelt-weinsteinsaurem Kali gemischt ist und der dann noch Aetzkali im Ueberschuss zugesetzt wird. Dieses Präcipitat ist deshalb charakteristisch für Traubenzucker, weil dasselbe, wie van den Broek (*Scheikundige Onderzoekingen gedaan in het Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool* 1846. III, p. 491) nachwies, mit reinem Rohrzucker erst nach langem Kochen entsteht, weil dann wohl eine partielle Umwandlung in Traubenzucker stattgefunden hat. Will man also durch dieses Mittel auch Rohrzucker nachweisen, wenn dieser allein vorhanden ist, wie es bei der Untersuchung vegetabilischer Körper und Gewebe geschehen kann, so muss der Rohrzucker vorher durch Schwefelsäure oder Salzsäure in Traubenzucker umgewandelt werden, wobei man jedoch eingedenk sein muss, dass auch Amylum, Gummi und Cellulose die nämliche Metamorphose erleiden können, wenngleich langsamer.

Bei der Harnruhr erhält man indessen durch diese Methode keine sicheren Resultate über den Zucker im Harne; denn Reich (Simon's *Beiträge zur phys. und pathol. Chemie und Mikroskopie* 1843. S. 546) wie van den Broek fanden, dass in einem Harne, der keine Spur von

Zucker enthält, eine Präcipitation des rothen Kupferoxyduls dessen ungeachtet manchmal stattfindet.

b. Pettenkofer (*Annal. der Chem. und Pharm.* 1844. LII, S. 90) setzt Ochsengalle allmälig concentrirte Schwefelsäure zu, bis das zuerst entstehende Präcipitat sich wiederum gelöst hat. Bringt man diese Mischung mit einer zuckerhaltigen Flüssigkeit zusammen, gleichviel ob Traubenzucker oder Rohrzucker darin enthalten ist, oder etwa andere Körper, die, gleich Amylum, Gummi u. s. w., durch Schwefelsäure in Zucker umgewandelt werden, so tritt auf der Stelle eine schön violette Färbung auf. Nach Plattner (Hoefle's *Chemie und Mikroskopie am Krankenbette.* Erlangen, 1848. S. 361) findet diese Reaction um so sicherer statt, wenn zuerst die zuckerhaltige Flüssigkeit mit Galle gemischt und alsdann die Schwefelsäure tropfenweise zugesetzt wird.

Indessen auch diese Probe liefert nicht immer vollkommen richtige Resultate. Zuvörderst haben van den Broek und ebenso Hoefle (l. c. S. 326 und S. 87 Anm.) angegeben, dass in einer Mischung von Galle und Schwefelsäure, ohne dass Zucker darin vorkommt, doch die nämliche violette Färbung wie bei Gegenwart von Zucker entstehen kann. Der einzige Unterschied ist nur der, dass dann die Färbung erst nach viel längerer Zeit auftritt, während sie bei Anwesenheit von Zucker fast auf der Stelle erscheint. Handelt es sich aber zweitens darum, im Harne Zucker aufzufinden, so kann man sich auf diese Methode noch weniger verlassen, da nach van den Broek's Entdeckung die Harnextractivstoffe mit dem Zucker die Eigenschaft theilen, in einer Mischung von Galle und Schwefelsäure die mehrerwähnte violette Färbung hervorzurufen, wenngleich die Farbenänderung auch in diesem Falle nicht gleich rasch wie mit Zucker zum Vorschein kommt.

Von selbst versteht es sich übrigens, dass dieses Prüfungsmittel bei der Untersuchung vegetabilischer Körper, wo zugleich Amylum, Gummi oder Cellulose mit im Spiele sind, ohne allen Werth ist.

c. Eine dritte Methode ist von Runge angegeben worden. Sie gründet sich darauf, dass Zucker, wenn er mit Schwefelsäure erwärmt wird, Humussäure bildet und somit schwarz oder dunkelbraun wird. Die nämliche Wirkung übt die Salzsäure aus, welche von Reich (Simon's *Beiträge* I, S. 546) zu diesem Zwecke empfohlen worden ist. Bei vegetabilischen Körpern kann diese Methode im Ganzen nicht in Betracht kommen. Bei animalischen Flüssigkeiten, namentlich beim Harne, ist sie zwar mit mehr Nutzen anzuwenden und man braucht nur ein Paar Tropfen davon in einem kleinen Abdampfschälchen oder einem Uhrgläschen mit einer kleinen Säurequantität zu erwärmen; doch kann man sich auf das Resultat nicht mit voller Gewissheit verlassen, weil manchmal auch ohne Gegenwart von Zucker im Harne eine braune Färbung entsteht, wenn er mit Schwefelsäure gemischt ist und abgedampft wird (van den

Digitized by Google

Broek). Ob so etwas auch bei Anwendung von Salzsäure eintritt, ist noch nicht untersucht.

d. Wird eine Flüssigkeit, die Traubenzucker enthält, mit Aetzkali gekocht, so bildet sich ebenfalls Humussäure und es entsteht eine braune Färbung. Aus diesem Grunde wurde Aetzkali von Moore als Prüfungsmittel auf Traubenzucker empfohlen. Da indessen Zucker nicht der einzige organische Körper ist, der damit diese Färbung erzeugt, ein nichtzuckerhaltiger Harn z. B. bei Behandlung mit Aetzkali manchmal auch braun wird, so sind die Resultate, welche man dadurch erzielt, nichts weniger als gewiss.

Es gewinnt aber dieses Verfahren an Sicherheit, wenn man nach Heller (*Archiv für phys. und pathol. Chemie und Mikroskopie*, 1844, Hft. 2. S. 212) der mit Kali gekochten Flüssigkeit Salpetersäure zusetzt: entwickelt sich dadurch ein deutlicher Syrupsgeruch, so darf man das Vorhandensein von Traubenzucker annehmen. Allein nicht selten entwickeln sich ausserdem salpetrige Säure und andere riechende Substanzen, wodurch die Erkennung dieses besonderen Geruches schwierig, wenn nicht geradezu unmöglich gemacht wird.

Es könnten noch andere Methoden aufgeführt werden, z. B. die schon oben (S. 194) genannte von Raspail, wonach man Zucker in Pflanzengeweben durch die rothe Färbung entdecken kann, welche durch ein Gemisch von Eiweiss und Schwefelsäure darin entsteht, deren Unzuverlässigkeit aber schon durch Decaisne und Payen (*Comptes rendus*, 1847, Nr. 24, p 909) dargethan worden ist. Ferner die von Reich (*Archiv der Pharm.* 1847. L, S. 293) zur Unterscheidung von Rohrzucker und Traubenzucker empfohlenen Methoden. Man soll nämlich mit doppeltchromsaurem Kali kochen, wodurch der Rohrzucker grünes Chromoxyd präcipitirt; oder man soll die zuckerhaltige, mit Aetzkali versetzte Flüssigkeit kochen und dabei salpetersaures Kobaltoxyd beimischen, wo dann die Rohrzuckerlösung einen violettblauen, die Traubenzuckerlösung einen schmutzig braunen Niederschlag bildet. Sodann die Methode von Maumené (*Comptes rendus*, 1850. Nr. 30. p. 314), der Merinostreifen mit einer Chlorzinnsolution tränkt, trocknet und dann in die zuckerhaltige Flüssigkeit taucht; denn diese Streifen bekommen bei einer Temperatur von 130° bis 150° C. eine dunkelbraune Farbe. Endlich auch noch die Methode von Böttger (*Jahresb. des phys. Vereines zu Frankfurt*, 1855 bis 1856, und *Journ. für prakt. Chemie* LXX, S. 433), der die zu untersuchende Flüssigkeit in einem Probirgläschen mit dem gleichen Volumen einer Solution von 3 Gewichtstheilen Wasser und 1 Gewichtstheil krystallisirten kohlensauren Natrons versetzt, dann noch etwas *Magisterium bismuthi* zufügt und kocht. Zeigt sich an dem zuerst schneeweissen Wismuthnitrate nach dem Kochen nur die geringste schwarze oder graue Färbung, so deutet dies auf Vorhandensein von Traubenzucker. Bei

Rohrzucker fehlt diese Reaction, falls er nicht vorher durch eine Säure in Traubenzucker umgewandelt wurde.

Es ist aber klar, dass mittelst der drei letztgenannten Methoden Zucker sich nicht wohl von anderen Substanzen unterscheiden lässt, die, gleich Amylum, Inulin, Dextrin, eine Umwandlung in Zucker erleiden können. Es sind daher diese Reactionen ebensowenig als die übrigen schon genannten dazu geeignet, bei Prüfung der Pflanzengewebe auf einen Zuckergehalt benutzt zu werden.

In der That fehlt uns ein hierzu passendes Prüfungsmittel ganz und gar. Nur dann, wenn eine ziemliche Quantität vegetabilischer Substanz zu Gebote steht, so dass sich der darin etwa enthaltene Zucker durch Alkohol ausziehen lässt, kann man den Rohrzucker, sobald man ein Tröpfchen der alkoholischen Lösung auf einem Glasplättchen anschiessen lässt, an der Krystallform erkennen, die vollkommen mit jener des Kandiszuckers stimmt. Doch ist es mir vorgekommen, als wenn der gelöste Rohrzucker dabei ziemlich rein sein müsste, und Glucose, Farbstoffe u. s. w. die Krystallbildung gar sehr hinderten.

Aus dieser Uebersicht der verschiedenen Prüfungsmittel kleiner Zuckermengen ersieht man, dass unter den bis jetzt bekannten kein einziges ausreichende Sicherheit bietet und diese nur erreicht werden kann, wenn der Zucker in reinem Zustande ausgeschieden und dargestellt wird. Ueber das hierbei einzuschlagende Verfahren muss ich aber den Leser auf die chemischen Handbücher verweisen.

5. Oelige und fettige Körper. Bei der mikroskopischen Untersuchung organischer Gewebe und Substanzen trifft man das Fett in dreierlei Formen an:

a. eingeschlossen in besondere dafür bestimmte Bläschen oder Zellen, die je nach der grösseren oder geringeren Consistenz des Fettes mehr rundlich oder auch vieleckig gestaltet sind;

b. als Krystalle;

c. als tropfenförmige oder mehr unregelmässig gestaltete Massen.

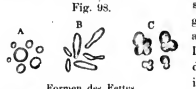
Die allgemeinste Eigenschaft, an der die Fette kenntlich sind, ist die Löslichkeit in Aether. Will man diese Eigenschaft bei der mikrochemischen Untersuchung benutzen, so muss der Körper, worin man Fett vermuthet, vorher getrocknet werden. Das geschieht am besten auf einem gewöhnlichen Deckgläschen. Hierauf legt man dasselbe in ein Uhrglas, giesst Aether darauf und bedeckt es mit einem grösseren Deckglase, um die Verdunstung zu verhüten.

Hat das Fett eine bestimmte Krystallform, so ist es schon dadurch zu erkennen, worüber oben (S. 189 und 190) für die meisten Fettarten das Nöthige angegeben wurde. Die Abwesenheit des Krystallinischen ist indessen durchaus kein Beweis, dass das eine oder das andere krystallisirbare Fett gänzlich fehlt. So kommt Margarin und Stearin im amorphen

Zustande vor, wenn flüssiges Elain zugegen ist. In diesem Zustande kann man aber Fette schon mit ziemlicher Sicherheit erkennen, ohne dass man Aether anzuwenden braucht: einmal, weil die daraus bestehenden Massen und die damit gefüllten Bläschen dunkele Ränder besitzen, in Folge der starken Lichtbrechung, und zweitens, weil sie, in einer Flüssigkeit schwimmend, vermöge des geringen specifischen Gewichtes immer an der Oberfläche oder wenigstens nahe dieser sich befinden.

An der Form (Fig. 98) und an anderen Eigenschaften der freien Fettkörperchen kann man ferner mit ziemlicher Sicherheit erkennen, ob sie zum grösseren Theile aus flüssigem Fette oder Oele, oder ob sie aus einem festeren Fette bestehen. Im ersteren Falle haben sie, wenn die sie enthaltende Flüssigkeit sich in Ruhe befindet, die vollkommene Kugelform (*A*), und wird das Object gerückt, so bekommt man die Bilder der tiefer gelegenen Objecte oder jener, deren Bild durch den Spiegel reflectirt wird (§. 28). Schüttelt man die Flüssigkeit, worin sie sich befinden, und bringt man gleich nachher einen Tropfen unters Mikroskop, so überzeugt man sich, dass sie keine Gestaltsveränderung erlitten haben. Bestehen aber die Körperchen aus einem bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen Fette, z. B. Elain, welches mit einer gewissen Menge eines anderen bei dieser Temperatur festen Fettes, z. B. Margarin, gemischt ist, so werden die früherhin kugelrunden Körperchen oder Tropfen durchs Schütteln länglich (*B*), gehen aber nach einiger Zeit wieder ins Kugelförmige zurück. Wenn endlich die Menge des starren Fettes überwiegt, ohne dass sich aber dieses noch krystallinisch ausgeschieden hat, dann zeigen die Körperchen eine sehr unregelmässige Gestalt (*C*), die sich durch Schütteln nur wenig oder gar nicht verändert.

Fig. 98.



Formen des Fettes.

Amorphe Fettkörperchen lassen sich von anderen, mit denen sie eine oberflächliche Uebereinstimmung zeigen, wie Amylumkörner, amorphe Klümpchen kohlensauren Kalkes u. s. w., auch noch durch die Erscheinungen unterscheiden, die beim Zerdrücken zwischen zwei Glastäfelchen auftreten. Fett ist stets weich und breitet sich durch den Druck aus, ohne dass Risse entstehen, und wenn es eine flüssige Fettart ist, so fliessen die einander sich nähernden Tröpfchen zusammen; andere damit zu verwechselnde Körper widerstehen dem Drucke stärker und ändern ihre Gestalt nicht, oder zerspringen in mehrere Stücke.

Fettkrystalle endlich, wie jene des Neurostearins (Fig. 96), die etwa für Krystalle des einen oder des anderen alkalischen oder erdigen Salzes, wie sie in Organismen vorkommen, angesehen werden könnten, unterscheiden sich leicht, wenn das Objecttäfelchen, worauf sie sich befinden, etwas

erwärmt wird: sie schmelzen, werden formlos, bekommen eine braune Färbung und zuletzt verbrennen sie.

Unter den Fettsäuren sind Margarinsäure und Stearinsäure zumeist an den Krystallformen kenntlich, die schon früher (S. 189. 190) beschrieben worden sind.

6. Aetherische Oele und Harze. Diese kommen blos bei der Untersuchung pflanzlicher Theile vor, und sie können hier zu einer Verwechselung mit fetten Oelen Veranlassung geben, oder aber das Umgekehrte kann stattfinden. Sie verrathen sich freilich meistens durch einen eigenthümlichen Geruch; indessen an manchen Pollenarten (Malvaceen, Liliaceen u. s. w.) ist das ätherische Oel in zu geringer Menge vorhanden, als dass es dem Geruchsorgane sich kund geben könnte.

Befinden sich Tröpfchen ätherischen Oeles in Wasser, so kann man diese unterm Mikroskope leicht von Tröpfchen eines fetten Oeles unterscheiden. Sie sind nicht scharf begrenzt, bilden Streifen in der Flüssigkeit und suchen sich an der Oberfläche auszubreiten. An der Oberfläche der Flüssigkeit aber bildet das ätherische Oel eine dünne Schicht, an der man bei auffallendem Lichte ein Irisiren wahrnimmt (S. 49). Die ätherischen Oele lösen sich ferner in Terpentinöl und kaltem Alkohol. Bringt man z. B. Pollenkörnchen in eine dieser beiden Flüssigkeiten, so bemerkt man an diesen kein Abfliessen des Oels, wie beim Anfeuchten mit Wasser.

Harzige Körper, die übrigens in frischen Substanzen immer mit ätherischen Oelen gemischt vorkommen, erkennt man ebenfalls an der Löslichkeit in Terpentinöl nnd in kaltem Alkohol, während sie sich oftmals nicht in Aether lösen, der die fetten Oele immer aufnimmt.

Dujardin (*Comptes rendus* 1850, Nr. 30, p. 172) hat auf eine Eigenschaft des Wachses aufmerksam gemacht, wodurch man diesen Körper vorkommenden Falles von Harzen zu unterscheiden vermag. Ist das Wachs nämlich geschmolzen, oder hat es sich aus fetten oder ätherischen Oelen abgesetzt, so bildet dasselbe sehr durchsichtige kleine Nadeln, welche das Licht depolarisiren, und dies tritt besonders deutlich hervor, wenn ein dünnes Gypsblättchen daruntergelegt wird. Ich kann dies nur bestätigen, muss aber hinzufügen, dass auch krystallinische Fette und Fettsäuren das Licht depolarisiren, und daran hat man besonders bei Margarin und Margarinsäure zu denken, die ebenfalls in kleinen Nadeln krystallisiren.

7. Schleim. Unter der Benennung Pflanzenschleim hat man neben dem mit Bestimmtheit so benannten Körper der Reihe nach noch andere Substanzen verstanden: verschiedene Arten Gummi und Dextrin, Pectin, formloses Amylum und Gemische von Proteïnverbindungen, wie sie in jüngeren Zellen vorkommen. Von diesen verschiedenen Körpern lassen sich blos die letzteren und das formlose Amylum mikrochemisch bestimmen. Ein sicheres Erkennen der übrigen genannten Körper ist

Digitized by Google

nur dann möglich, wenn hiureichend grosse Mengen davon isolirt worden sind.

Was den thierischen Schleim anlangt, so ist das, was mau gewöhnlich unter diesem Namen versteht, d. h. das Absonderungsproduct an der Oberfläche der verschiedenen Schleimhäute, ebenfalls ein Körper, der in sehr verschiedenen Modificationen vorkommt, je nach den Organen selbst und nach den besonderen Zuständen, worin sich diese befinden. Niemals indessen ist es eine homogene Substanz, sondern immer ein Gemisch einer Flüssigkeit mit organisirten Theilchen, die im vollkommen gesunden Zustande nichts anderes als die gutgeformten abgestossenen Epithelialzellen der Schleimhaut sind, während in krankhaften Zuständen diese Zellen bei der vermehrten Schleimproduction in viel grösserer Menge gebildet und abgestossen werden und auf einer niedrigern Bildungsstufe verharren; daher man in dem pathologischen Schleime zuletzt nur rundliche Körper sieht, die weder in der Gestalt noch im Verhalten zu Reagentien von Eiterzellen sich unterscheiden, mit denen sie daher auch identificirt werden müssen. Im Schleime sowohl wie im Eiter erscheinen diese Körperchen als Bläschen, deren Hülle zu den Proteïnverbindungen gehört und sich in Essigsäure löst, wodurch dann in jedem Bläschen 1 bis 4 sehr kleine Körperchen oder Körnchen zum Vorschein kommen, die nur schwer zu erkennen waren, bevor die Essigsäure zugesetzt wurde. Uebrigens können in der Grösse dieser Zellen sowohl als in der durchgreifenden Anzahl der Kerne sowie in anderen Hinsichten noch Verschiedenheiten vorkommen, deren ausführliche Mittheiluug jedoch nicht hierher gehört.

Aus dem Angegebenen erhellt, dass die Substanz, welche an der Oberfläche kranker Schleimhäute abgeschieden wird, vom wahren Eiter in Betreff der darin vorkommenden organisirten Theile sich nicht unterscheidet; dagegen aber zeigen die Flüssigkeiten, worin diese Theilchen schweben, Verschiedenheiten. In der schleimigen Flüssigkeit ist ein Körper gelöst, den man Schleimstoff (*Mucine*) nennen kann, und der sich im wahren Eiter nicht findet. Dieser Schleimstoff ist mikrochemisch nachweisbar. Zuvörderst mischt er sich nicht gut mit Wasser und er löst sich auch nur wenig darin; bringt man daher Schleim mit Wasser unters Mikroskop, so will es auch beim Hin- und Herschieben des Deckgläschens nicht gelingen, die zähen Theile zum Verschwinden zu bringen und die ganze Mischung dünn und leichtflüssig zu machen. Setzt man dagegen Aetzkali oder Ammoniak zu, so erfolgt diese Auflösung leicht. Vorzüglich aber charakterisirt sich dieser Schleimstoff durch das Präcipitat, welches organische Säuren, namentlich Essigsäure, Oxalsäure und Weinsteinsäure damit erzeugen; dasselbe erscheint unter dem Mikroskope sehr feinkörnig häutig, mit Falten und Streifen versehen, die man ja nicht für Fasern halten darf. Ein Uebermaass von Säure

löst dieses Präcipitat nicht, was zur Unterscheidung von Caseïn dient. Aus seinem Auftreten kann man daher immer mit Sicherheit auf das Vorhandensein von Schleimstoff schliessen, und auch die relative Menge des letzteren lässt sich einigermaassen darnach bestimmen.

8. Galle. Man erkennt diese durch den im ganz reinen Zustande noch nicht bekannten färbenden Bestandtheil (*Biliphaein* Gmel., *Cholepyrrhin* Berz.), der die Eigenschaft besitzt, durch Zusatz von Salpetersäure zuerst grün, dann blau und endlich gelblichroth zu werden. Die kleinsten Gallenmengen, welche organischen Substanzen, wie Blut, Harn, Ueberbleibseln von Speisen im Magen und in den Gedärmen u. s. w. beigemischt sind, lassen sich auf diese Weise entdecken. In der Regel ist das Mikroskop dabei überflüssig. Handelt es sich aber z. B. darum, die Natur einer ausgebrochenen Substanz genau zu untersuchen, so ist es gut, wenn man die Reaction unter dem Mikroskope vornimmt, um darüber ins Reine zu kommen, welchen Antheil der Gallenfarbstoff an der allgemeinen Färbung jener Substanz hat; denn es kann dieselbe auch noch andere färbende Bestandtheile enthalten, welche von genossenen Speisen herrühren.

Das Vorhandensein von Galle lässt sich auch nach Pettenkofer an der violettblauen Färbung erkennen, welche durch Zusatz von Zucker und Schwefelsäure entsteht, wovon bereits bei den Mitteln zur Erkennung des Zuckers (S. 199) die Rede war. Es ist aber durchaus noch nicht ausgemacht, dass der Galle allein diese Reaction zukommt. Van den Broek (*Scheikundige Onderzoekingen* etc. p. 514) hat dargethan, dass diese Reaction nicht blos von der sogenannten Choleïnsäure herrührt, wie Pettenkofer annimmt, vielmehr auch mit den meisten anderen Gallenbestandtheilen ebensogut auftritt, und er hat ferner gefunden, dass, wenn Salicin oder vollends das daraus gezogene Saligenin mit Schwefelsäure erwärmt wird, Farben auftreten, welche mit jenen durch Galle bedingten die grösste Uebereinstimmung zeigen.

9. Harnstoff. Eine der interessantesten Aufgaben der Mikrochemie ist das Erkennen von Harnstoff in thierischen Flüssigkeiten, wie Blut, Schweiss, *Humor vitreus*, hydropische Ansammlungen u. s. w., in denen er gewöhnlich gar nicht oder doch nur in höchst geringen Mengen vorkommt. Zunächst wird die zu untersuchende Flüssigkeit in einem Wasserbade bis zur Trockne abgedampft und der Rückstand mit Alkohol digerirt, der neben dem Harnstoffe auch noch einzelne Salze, Zucker, Fette u. s. w. aufnimmt. (Wäre übrigens kein Eiweiss in der Flüssigkeit, so würde das Abdampfen bis zur Trockne und die Ausziehung mit Alkohol nicht nöthig sein, sondern man brauchte nur der zur Syrupsdicke abgedampften Flüssigkeit ohne Weiteres Salpetersäure zuzusetzen.) Die alkoholische Solution wird ebenfalls abgedampft, der Rückstand aber in der geringsten Menge Wasser zu einer syrupsartigen Flüssigkeit gelöst.

Davon kommt ein Tropfen auf ein Objecttäfelchen und daneben bringt man einen Tropfen starke Salpetersäure, so dass die beiden Tropfen langsam zusammenfliessen. Eine besondere Vorkehrung, um die Wärmeentwickelung und Zersetzung zu verhüten, ist bei solchen mikrochemischen Quantitäten nicht erforderlich. Ist nun Harnsäure im Spiele, so entstehen bald Krystalle von salpetersaurem Harnstoffe (Fig. 79 S. 183). Wegen der möglichen Verwechselnng mit den Krystallen des salpetersauren Natrons verweise ich den Leser anf S. 169.

Um das durch Salpetersäure erlangte Resultat noch mehr zu sichern, kann man einem zweiten Tropfen der syrupsdicken Solution einen Tropfen saturirte Oxalsäure zusetzen; man erhält dann Krystalle von oxalsaurem Harnstoffe (Fig. 80, S. 184). Bei sehr geringen Harnstoffmengen verdient dieses Reagens sogar den Vorzug, weil das oxalsaure Salz sich noch weniger leicht in Wasser löst als das salpetersaure.

Wenn durch blosse Vermischung der genannten Reagentien mit der Flüssigkeit keine Krystalle entstehen, so kann die Schuld daran liegen, dass der Harnstoff in zu geringer Menge vorhanden ist nnd das eine wie das andere Salz darin gelöst bleibt. In diesem Falle werden sich aber nach dem Verdunsten der Flüssigkeit noch Krystalle auf dem Objecttäfelchen bilden.

Endlich erinnere ich an das, was oben (§. 182) über den Einflnss des Harnstoffes anf die Krystallform des Chlornatriums angeführt wnrde. Wenn sich aus einer Chlornatriumsolntion bei langsamer Verdunstung ähnliche Krystalle absetzen, wie die in Fig. 78 abgebildeten, dann darf man mit grosser Wahrscheinlichkeit auf gleichzeitig vorhandenen Harnstoff schliessen. Eigends darüber angestellte Untersuchungen haben mich aber belehrt, dass der Harnstoff im Verhältniss zum Chlornatrium in ziemlich grosser Menge vorhanden sein muss. Da nun auch ausserdem, wenn eine Chlornatriumsolntion rasch verdunstet, dendritische Bildungen auftreten und darnnter auch solche, welche mit den kreuzförmigen Krystallen des Doppelsalzes aus Chlornatrinm und Harnstoff grosse Aehnlichkeit haben, so darf man sich niemals allein auf dieses den Harnstoff anzeigende Merkmal verlassen.

10. Cystin. An den regelmässigen sechsseitigen Tafeln (Fig. 90 S. 188) erkennt man diese Substanz vorkommenden Falles ohne Mühe, und ausserdem dient die Löslichkeit in Mineralsäuren und in Aetzalkalien zur Unterscheidung von anderen Körpern, mit denen die Krystalle eine oberflächliche Aehnlichkeit haben. Uebrigens charakterisirt sich das Cystin auch noch durch die schwarze Färbung, wenn es mit einer Solution von Bleioxyd und Kali gekocht wird, wobei sich Schwefelblei bildet, desgleichen durch den eigenthümlichen Geruch beim Verbrennen.

11. Kreatin. Dieser Körper, welcher im ausgedrückten Fleischsafte, im Blute, im Harne vorkommt, ist nicht durch starke Reactionen

Digitized by Google

ausgezeichnet. Wird eine kreatinhaltige Flüssigkeit genugsam eingedickt, so krystallisirt das Kreatin (Fig. 87), namentlich beim Erkalten der Flüssigkeit; denn es bedarf 74 Theile kalten Wassers zur Auflösung, ist aber in kochendem Wasser weit leichter löslich. Die Form dieser Krystalle genügt schon vollständig, das Kreatin vom Harnstoffe zu unterscheiden; es unterscheidet sich aber von diesem auch noch durch die fast vollkommene Unlöslichkeit in Alkohol und die leichte Löslichkeit in verdünnten Säuren, mit denen es jedoch keine Salze bildet. Auch in Ammoniak und in Barytwasser ist das Kreatin löslich. Diese Merkmale, verbunden mit der Form der Krystalle, sind ausreichend, um schon geringe Kreatinmengen zu erkennen.

12. Kreatinin. Dieses Alkaloïd, welches immer in mehr oder weniger grosser Menge neben dem Kreatin vorzukommen scheint, und durch Behandlung mit einer Säure aus diesem sich bildet, kann auch nur in den durch Abdampfung eingedickten Flüssigkeiten nachgewiesen werden.

Vom Kreatin unterscheidet es sich nicht blos durch die etwas verschiedene Krystallform (Fig. 88), sondern auch durch die bedeutend grössere Löslichkeit in kaltem Wasser, nämlich schon in 11 Theilen, und durch die viel grössere Löslichkeit in Alkohol, namentlich in kochendem, sowie endlich durch das Präcipitat, welches mit Chlorzink in einer Kreatininsolution entsteht. Dieses Präcipitat ist ein Doppelsalz, welches sich in der Form kleiner nadelförmiger Krystalle ausscheidet, die zu sternoder besenförmigen Gruppen vereinigt sind.

13. Harnsäure und harnsaure Salze. Freie Harnsäure erkennt man leicht an der Form ihrer Krystalle (Fig. 81), sowie an der eigenthümlichen Reaction gegen Salpetersäure (S. 185). Sie bedarf mehr als 1000 Theile Wasser zur Auflösung. Im Harne ist sie meistens in etwas grösserer Menge vorhanden, weil ihre Löslichkeit durch die vorhandenen phosphorsauren Salze befördert wird. Setzt man Salpeter- oder Salzsäure zu, so präcipitirt die Harnsäure aus dem Harne und zwar gewöhnlich krystallinisch, manchmal aber auch (Heller's *Archiv* u. s. w., 1844, S. 99), namentlich wenn gleichzeitig Gallenfarbstoff im Spiele ist, als ein amorphes Pulver, dessen Natur dann nicht durch blosse mikroskopische Untersuchung, sondern durch Behandlung mit Salpetersäure festgestellt werden muss.

Die harnsauren Salze von Ammoniak, Natron und Kali, Kalk und Magnesia lösen sich leichter in warmem Wasser als in kaltem. Deshalb schlagen sie sich aus einer Solution beim Erkalten nieder, wie es bei vielen Harnniederschlägen der Fall ist. Von der Form dieser harnsauren Salze ist schon früher (S. 185) die Rede gewesen. Immer lassen sie sich leicht erkennen, wenn etwas von der zu untersuchenden Substanz auf einem Objecttäfelchen mit einem Tropfen Essigsäure oder Salzsäure

gemischt wird, wodurch sich bald Harnsäurekrystalle ausscheiden. Die Basis des Salzes in der Solution lässt sich dann weiterhin durch die geeigneten Reagentien bestimmen.

14. Hippursäure. Wenn Hippursäure im Harne vorkommt, so präcipitirt sie daraus, wenn der zur Syrupsconsistenz abgedampften Flüssigkeit concentrirte Salzsäure zugesetzt wird. Reiner erhält man sie nach Gregory (*Phil. Mag.* 1849. XXXI, p. 127), wenn man den Harn vorher mit Kalkmilch mischt und weiterhin auf die nämliche Art behandelt. Das durch Salzsäure entstandene Präcipitat wird im Wasserbade getrocknet und hierauf mit wasserfreiem Aether digerirt; dieser nimmt die Hippursäure auf, und beim Verdunsten auf einem Objecttäfelchen erscheint die Säure in der in Fig. 84 dargestellten Krystallform. Die Krystalle haben indessen keine so charakteristische Form, dass sie nicht möglicher Weise mit anderen Körpern verwechselt werden könnten. Auch verlangt schon die Zuverlässigkeit, dass die Krystalle noch einer näheren Untersuchung unterworfen werden, wozu man nur einer ganz geringen Menge bedarf, falls das Mikroskop dazu benutzt wird. Namentlich kann leicht eine Verwechselung mit Harnstoff vorkommen, der, wenn er im Präcipitate enthalten ist, auch vom Aether aufgelöst wird, und dessen Krystalle (Fig. 77) manche Uebereinstimmung mit jenen der Hippursäure zeigen. Letztere ist jedoch weit schwerer löslich in Wasser und bedarf davon 375 Theile, während sich der Harnstoff in gleichen Theilen Wasser löst, aus welcher Lösung sich dann bei Zusatz von Salpetersäure die mehrbeschriebenen Krystalle des salpetersauren Harnstoffs ausscheiden.

Von der Harnsäure unterscheidet sich die Hippursäure durch die Löslichkeit in Aether und Alkohol, durch eine ganz verschiedene Krystallform, und bei Behandlung mit Salpetersäure und Ammoniak zeigt sich nicht jene der Harnsäure eigenthümliche Reaction.

Wird Hippursäure in einem Probirgläschen erhitzt, so sublimirt Benzoësäure (Fig. 85) und benzoësaures Ammoniak mit einer kleinen Menge eines ölartigen Körpers; dabei entwickelt sich ein Geruch wie von Tonkabohnen, und späterhin wie von bitterem Mandelöl.

15. Milchsäure. Diese verräth sich durch keinerlei starke Reaction, weshalb es nicht leicht ist, kleine Mengen davon mit Sicherheit nachzuweisen *). Am meisten ist noch auf die Krystalle von milchsaurem Zinkoxyd (Fig. 86) zu geben. Man erhält dieses Salz dadurch, dass man den alkoholischen Auszug der auf Milchsäure untersuchten Substanz abdampft, den Rückstand in Wasser löst, die Lösung mit kohlensaurem Bleioxyd digerirt und dem gelösten milchsauren Bleioxyd schwefel-

---

*) Nach Pelouze hindert die Milchsäure das Präcipitirtwerden der Kupferoxydsalze durch Kalkmilch. Dieses Reagens auf Milchsäure ist aber nur bei grösseren Mengen anwendbar, und dabei nichts weniger als ganz zuverlässig. S. Strecker, *Annal. d. Chem. u. Pharm.* LXI, S. 316.

Digitized by Google

saures Zinkoxyd zusetzt, wo dann schwefelsaures Blei zu Boden fällt und milchsaures Zinkoxyd gelöst bleibt. Die durch Abdampfen erhaltenen Krystalle des letzteren Salzes haben Aehnlichkeit mit jenen des schwefelsauren Zinkoxyds. Sie unterscheiden sich jedoch durch die Löslichkeit in Alkohol, und ausserdem erzeugt Chlorbaryum in der wässerigen Solution des schwefelsauren Salzes ein Präcipitat, das sich nicht in Säuren löst. Nach Lehmann (*Lehrb. d. phys. Chemie.* 2. Aufl. 1850, I, S. 96) ist die Milchsäure auch aus der Form der Krystalle zu erkennen, die sie mit Kalk und mit Kupferoxyd bildet. Der milchsaure Kalk krystallisirt in kleinen Nadeln, die gleichsam von einem gemeinschaftlichen Mittelpunkte stern- oder besenförmig ausstrahlen. Kommt indessen in der Flüssigkeit, z. B. im Pferdeharne, gleichzeitig Hippursäure vor, so hat man sich vor einer Verwechselung mit hippursaurem Kalke zu hüten, der fast ebenso krystallisirt. Auch mit schwefelsaurem Kalke wäre eine Verwechselung möglich; doch unterscheidet hier die geringe Löslichkeit des letzteren in Wasser und Säuren, und die vollständige Unlöslichkeit in Alkohol, worin sich milchsaurer Kalk löst. Milchsaures Kupferoxyd bildet hell bläulich grüne Krystalle, die ziemlich ähnlich gestaltet sind wie jene des milchsauren Zinkoxyds.

Buttersäure, Ameisensäure und Essigsäure unterscheiden sich durch ihre Flüchtigkeit von der Milchsäure; letztere verflüchtigt sich nicht, auch wenn sie erwärmt wird.

16. Gerbsäure, die in Pflanzenzellen oder in Intercellularräumen vorkommt, verräth sich auch in der allergeringsten Menge durch eine Eisenoxydsalzsolution.

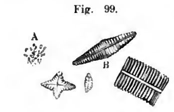
17. Kohlensaure Salze geben sich bei mikroskopischen Untersuchungen leicht zu erkennen, wenn man eine Säure zusetzt, am liebsten Salpeter- oder Salzsäure, wodurch die Kohlensäure frei wird und in der Form von Luftbläschen entweicht. Da bei mikrochemischen Untersuchungen nur dieses Gas unter solchen Umständen vorkommt, so ist eine Verwechselung nicht wohl möglich. Man kann dadurch die in Wasser löslichen und auch die darin unlöslichen kohlensauren Salze entdecken; nur darf im ersteren Falle die Solution nicht allzu verdünnt sein, weil sonst die Flüssigkeit die freiwerdende Kohlensäure zurückhält. Was die unlöslichen kohlensauren Salze, namentlich von Kalk und Magnesia, betrifft, von denen namentlich der kohlensaure Kalk so allgemein zu den Bestandtheilen der festeren organischen Gewebe gehört, so hat man oftmals angenommen, der eigentliche Sitz des Salzes sei da, wo sich die Luftbläschen entwickeln. Dies gilt aber nicht für alle Fälle. Die genauere Beobachtung lehrt, dass bei Knochen, Zähnen, Korallen u. s. w. die Gasentwickelung vorzugsweise an den vorragenden Punkten stattfindet, ohne dass jedoch der kohlensaure Kalk an diesen Punkten in grösster Menge angehäuft zu sein braucht.

Digitized by Google

Ich will auch noch darauf anfmerksam machen, dass die kohlensauren Salze in der Asche organischer Substanzen sehr oft aus der Verbrennung von Salzen herrühren, deren Basis ursprünglich mit einer durch die Hitze zersetzten organischen Säure verbunden war.

18. Schwefelsaure Salze. Die gebräuchlichsten und zugleich auch die empfindlichsten Reagentien für die in Solntion befindlichen schwefelsauren Salze sind Chlorbarynm, oder nach Umständen salpetersaurer Baryt. Der gefällte schwefelsaure Baryt (Fig. 99) ist weiss und unlöslich in Salzsäure. Erfolgte die Beimischnng rasch, so besteht der Niederschlag aus unzusammenhängenden Körnchen (*A*), die zu klein sind, als dass sich ihre Gestalt näher bestimmen liesse. Wurden aber die beiden Flüssigkeiten sehr langsam miteinander gemischt, so entstehen grössere krystallinische Körperchen (*B*).

Fig. 99.



Schwefelsaurer Baryt

Wenn keine organischen Bestandtheile in dem zu untersuchenden Körper vorkommen, z. B. bei Untersuchung der Asche verbrannter organischer Theile, dann spricht das durch ein Barytsalz entstandene, in Salzsäure unlösliche Präcipitat mit Sicherheit für vorhandene Schwefelsäure. In Flüssigkeiten dagegen, welche organische Substanzen enthalten, entsteht manchmal ein derartiges Präcipitat, das man nicht auf Rechnung eines schwefelsauren Salzes setzen darf. Ist man nnn zweifelhaft, so muss man entweder seine Zuflucht zu der erwähnten langsamen Präcipitation nehmen, bei der sich jene leicht erkennbaren Krystalle bilden, oder noch lieber wählt man als Reagens ein lösliches Kalksalz (Chlorcalcium, salpetersaurer Kalk), wodurch, auch bei raschem Zusatze, immer ein krystallinisches Präcipitat (Fig. 70) entsteht, aus dessen Gestaltung man einen sicheren Schluss ziehen darf. Nur vergesse man nicht, dass der schwefelsaure Kalk weit löslicher in Wasser ist als der schwefelsaure Baryt, weshalb in sehr verdünnten Solutionen durch Kalksalze kein Präcipitat entsteht. Lässt man jedoch nachher einen Tropfen der Flüssigkeit auf einem Objecttäfelchen verdunsten, wozu wegen der Deliquescenz der löslichen Kalksalze Erwärmung erforderlich ist, so kommen die Gypskrystalle zum Vorschein.

19. Chlorwasserstoffsäure und Chlorsalze. Auf beide weist das weisse, am Lichte sich schwarz färbende Präcipitat hin, welches in einer wässerigen Solution durch salpersaures Silber entsteht. Dieses Präcipitat ist löslich in Ammoniak, aber unlöslich in Salpetersäure; es besteht aus kleinen, zu Flocken vereinigten, ganz undurchsichtigen und deshalb bei durchfallendem Lichte schwarz erscheinenden Körperchen.

Dieses Reagens ist auch nur so lange ganz zuverlässig, als sich keine

Digitized by Google

organischen Substanzen gleichzeitig in der Flüssigkeit befinden; denn manche von diesen gehen mit salpetersaurem Silber ganz ähnliche Präcipitate, die nur nicht ganz so undurchsichtig sind, wenn sie bei durchfallendem Lichte durchs Mikroskop betrachtet werden. Die gewöhnlichsten Chlorverbindungen, die hier in Betracht kommen, nämlich Chlornatrium, Chlorkalium und Chlorammonium, lassen sich in einem solchen Falle mit grösserer Sicherheit erkennen, wenn man einen Tropfen der Flüssigkeit verdunsten lässt und den Rückstand mikroskopisch untersucht, da die Krystalle dieser Salze (Fig. 58, 59, 62) sich sehr leicht von allen anderen unterscheiden lassen. Chlorcalcium und Chlormagnesium lassen sich nicht auf diesem Wege nachweisen; sie kommen aber nicht leicht anders vor, als in Körpern, die man verbrennt, und deren Asche man untersuchen kann, indem man sie mit Wasser auszieht.

20. Phosphorsaure Salze. Unter den in organischen Körpern vorkommenden phosphorsauren Salzen giebt es einige, namentlich die Kali-, Natron- und Ammoniaksalze, die sich in Wasser sehr leicht lösen, während andere gar nicht in Wasser, dafür aber in verdünnter Salpeter- und Salzsäure leicht löslich sind, namentlich der phosphorsaure Kalk und die phosphorsaure Ammoniakmagnesia. Phosphorsaure Magnesia löst sich zwar in Wasser, bedarf aber dazu 25 Theile, also mehr als die phosphorsauren Alkalien.

Von den drei isomeren Formen, in denen die Phosphorsäure vorkommen kann, trifft man bei organisch-chemischen Untersuchungen nur zwei an, nämlich die tribasische (gewöhnliche Phosphorsäure, c Phosphorsäure) und die bibasische (Pyrophosphorsäure, b Phosphorsäure). Um das Vorkommen einer dieser beiden Formen in einer neutralen wässerigen Flüssigkeit zu entdecken, benutzt man die salpetersaure Silbersolution. Diese giebt mit der erstgenannten ein gelbes Präcipitat, dessen Färbung auch bei 50maliger Vergrösserung noch gut zu erkennen ist, während das von Salzen mit bibasischer Säure kommende Präcipitat ganz weiss ist. Das gelbe wie das weisse Präcipitat lösen sich in Ammoniak und in Salpetersäure, und dadurch unterscheiden sie sich von den aus Chlorsalzen entstehenden Präcipitaten. Auch liefern die phosphorsauren Salze mit essigsaurem Eisenoxyd ein in Ammoniak lösliches Präcipitat, was bei Chlorsalzen nicht vorkommt.

Da aber Metallsalze mit verschiedenen anderen organischen Substanzen, indifferenten Körpern sowohl als Säuren, Präcipitate bilden, so kann man sich nicht immer auf die dadurch erhaltenen Resultate verlassen, es müsste denn die Asche untersucht werden, in welchem Falle die tribasische Phosphorsäure sich stets in bibasische umgewandelt hat. In solchen Fällen ist es gerathener, man setzt der Flüssigkeit eine Solution von schwefelsaurer Magnesia zu, und weiterhin Ammoniak oder kohlensaures Ammoniak. Ist ein bibasisches phosphorsaures Salz

vorhanden, so entsteht ein Präcipitat mit dendritischen Krystallen, die man leicht an der eigenthümlichen Formation (Fig. 76) erkennt.

Unter den in Wasser nicht löslichen phosphorsauren Salzen unterscheidet sich das Doppelsalz aus Magnesia und Ammoniak, welches in thierischen Substanzen so häufig vorkommt, durch die eigenthümliche Form seiner Krystalle (Fig. 75). Uebrigens wird nicht blos diese Verbindung, sondern auch der phosphorsaure Kalk und die phosphorsaure Magnesia werden aus ihren sauren Solutionen durch Ammoniak präcipitirt und lassen sich dann bisweilen an der Krystallform (S. 181 und 182) erkennen. Ist dies nicht der Fall, so weist das durch Ammoniak entstandene Präcipitat nur in dem Falle mit Sicherheit auf Erdphosphate hin, wenn die organischen Säuren, unter denen sich auch solche befinden, deren Kalk- und Magnesiasalze durch Ammoniak präcipitirt werden, vorher durch Verbrennung in Kohlensäure umgewandelt wurden.

21. Ammoniaksalze werden am besten durch die mikroskopische Untersuchung des auf einem Objecttäfelchen nach der Verdunstung bleibenden Rückstandes nachgewiesen, da die meisten durch leicht kenntliche Krystallformen (Fig. 62 bis 66) sich auszeichnen. Bei chemischen Untersuchungen ohne Hülfe des Mikroskopes läuft man leicht Gefahr, das Vorhandensein von Ammoniak zu übersehen, zumal wenn man sich auf die Untersuchung der durchs Verbrennen erhaltenen Asche beschränkt; denn wegen der Flüchtigkeit aller Ammoniaksalze ist in der Asche keine Spur derselben mehr zu finden.

Die Verflüchtigung durch Erwärmen zählt mit zu den sicheren Merkmalen, woraus man schliessen kann, dass Krystalle, welche nach dem Verdunsten einer Flüssigkeit auf einem Glasplättchen zurückgeblieben waren, einem Ammoniaksalze angehörten. Dabei darf man aber nicht vergessen, dass diese Verflüchtigung durch vorhandene organische Substanzen, namentlich wenn Eiweiss auf dem Glastäfelchen mit eintrocknete, gar sehr behindert wird, so dass das Ammoniaksalz erst bei einer Hitze verschwindet, bei welcher die organische Substanz verkohlt und zu Asche verbrennt, während dagegen das aus einer blossen wässerigen Solution zurückbleibende Salz schon bei einer weit niedrigeren Temperatur verfliegt.

Ammoniak in amorphen organischen Salzen, z. B. in harnsaurem Ammoniak, lässt sich erkennen, wenn man etwas Salzsäure zusetzt; in der verdunstenden Flüssigkeit werden sich dann Krystalle von Chlorammonium (Fig. 62) bilden. Nur muss man sich vorher vergewissern, dass die Salzsäure nicht schon Chlorammonium enthält, da man dieses Salz meistens in mehr oder weniger grosser Menge in solcher Salzsäure antrifft, die mit der Luft in Berührung war.

22. Kalisalze erkennt man an dem gelben Präcipitate, welches durch eine alkoholische Solution von Platinchlorid entsteht. Dieses

Präcipitat ist aber amorph, und da das Platin auch verschiedene organische Substanzen sowie Ammoniaksalze präcipitirt, so kann es nur in der Asche, welche beim Verbrennen organischer Körper zurückbleibt, das Kali mit Sicherheit zu erkennen geben.

Zur mikroskopischen Untersuchung verdient daher Weinsteinsäure den Vorzug. Wird dieselbe einer nicht allzu schwachen Kalisalzsolution im Uebermaass zugesetzt, so bildet sich ein krystallinisches Präcipitat (Fig. 67), dessen Krystalle sich, zumal wenn sie bei langsamer Beimischung entstanden, mit den Krystallen des in Wasser ebenfalls nur wenig löslichen weinsteinsauren Ammoniaks schwerlich verwechseln lassen. Die übrigen schwer löslichen weinsteinsauren Salze sind amorph, und das gilt auch vom weinsteinsauren Kalke, jenen ausgenommen, welcher beim Zusatze von Weinsteinsäure zu Kalkwasser entsteht; denn dann erhält man einen krystallinischen weinsteinsauren Kalk. Die Krystalle sind Rhombenoctaëder, die zum Theil zu rhombischen Prismen ausgewachsen sind, mit mehrfachen Abstumpfungen der Kanten und Ecken. Bei einiger Uebung fällt es aber nicht schwer, sie von den Krystallen des weinsteinsauren Kali zu unterscheiden.

23. Natronsalze. Das beste Reagens auf Natron ist die Kieselfluorwasserstoffsäure; damit bildet sich das wenig lösliche Fluorkieselnatrium, dessen Krystalle (Fig. 60) so eigenthümlich gestaltet sind, dass man das Vorhandensein auch der geringsten Natronmenge mit grosser Sicherheit dadurch zu erkennen im Stande ist. Da aber diese Verbindung in Wasser nicht ganz unlöslich ist, so kommen in sehr verdünnten Natronsolutionen, z. B. im Harne, die Krystalle erst dann zum Vorschein, wenn der auf dem Objecttäfelchen befindliche Tropfen zu verdunsten angefangen hat.

Mit Ammoniak-, Kali-, Kalk- und Magnesiasalzen bildet die Kieselfluorwasserstoffsäure keine Niederschläge; die Barytsalze aber, die bei organisch-chemischen Untersuchungen nicht in Betracht kommen, geben ein ganz anders geformtes krystallinisches Präcipitat, das in Fig. 100 dargestellt ist.

Fig. 100.

Fluorkieselbaryum.

Ein anderes Prüfungsmittel auf Natron ist das antimonsaure Kali, zuerst von Frémy und später von Wackenroder (*Archiv der Pharm.* 1843. XXXIV, S. 263) empfohlen. Die damit sich bildenden Krystalle von bimetaantimonsaurem Natron (Fig. 61) sind auch ziemlich leicht zu erkennen, wenngleich sie wegen der wechselnden Gestaltung nicht so charakteristisch sind als jene des Fluorkieselnatriums. Sind kohlensaures Kali und kohlensaures Natron gleichzeitig, und zwar ersteres in grossem Ueberschuss vorhanden, dann scheidet sich dieses Präcipitat nicht aus. Das nämliche Reagens erzeugt in Solutionen

Digitized by Google

von Ammoniak-, Baryt- und Kalksalzen nur amorphe Präcipitate. Dagegen entsteht mit Magnesiasalzen ein krystallinisches Präcipitat, aus kurzen schiefen rhombischen Prismen bestehend, die also von jenen mit Natronsalzen entstehenden wohl verschieden sind, bei einer nicht ganz genauen Betrachtung aber leicht dafür gehalten werden können.

24. Kalksalze. Die löslichen Kalksalze bilden mit Oxalsäure, mit oxalsaurem Ammoniak, mit saurem oxalsauren Kali ein Präcipitat von oxalsaurem Kalke, das sich in Salz- und Salpetersäure löst, nicht aber in Essigsäure und Ammoniak. Durch die beiden erstgenannten entsteht ein amorphes Präcipitat; das Präcipitat dagegen, welches durch die Solution des sauren oxalsauren Kali hervorgebracht wird, besteht aus kleinen, meistens octaëdrischen Krystallen (Fig. 72 *J*). Das saure oxalsaure Kali verdient demnach zur mikrochemischen Prüfung den Vorzug.

Ein gutes Reagens auf Kalk besitzen wir ferner in der verdünnten Schwefelsäure; die Nachweisung des Kalkes gelingt damit, auch wenn phosphorsaurer Kalk in Salz- oder Salpetersäure gelöst ist, weil der entstehende schwefelsaure Kalk in diesen Säuren sich nicht besser löst als im Wasser. Auch sind die Gypskrystalle (Fig. 70) immer auffallend grösser als jene des oxalsauren Kalkes, und unter dem Mikroskope lassen sie sich mit grösserer Sicherheit erkennen. Nur vergesse man nicht, dass die Krystalle erst beim Verdunsten zum Vorschein kommen, sobald sich nur wenig Kalk in der Auflösung befindet. Man darf ferner keine concentrirte Schwefelsäure nehmen, weil diese zuerst ein amorphes häutiges Präcipitat giebt, dem erst weiterhin ein krystallinisches nachfolgt. Man kann auch eine Lösung von schwefelsaurem Natron oder von schwefelsaurer Magnesia nehmen, und diese verdienen sogar den Vorzug, wenn organische Substanzen zugegen sind.

Im kohlensauren Kalke oder in Substanzen, welche denselben enthalten, lässt sich der Kalk nachweisen, wenn man erst das kohlensaure Salz in salpetersauren Kalk oder in Chlorcalcium umwandelt, und dann der neutralen Flüssigkeit saures oxalsaures Kali, oder bei überschüssiger Säure Schwefelsäure zusetzt. Oftmals ist auch die Umwandlung in ein lösliches Kalksalz unnöthig, wenn die Reaction im Felde des Mikroskopes vor sich geht. Wenn die Körperchen, welche aus kohlensaurem Kalke bestehen oder diesen in reichlicher Menge enthalten, klein sind, dann verwandeln sie sich durch Zusatz verdünnter Schwefelsäure ganz oder zum Theil in Krystalle von schwefelsaurem Kalke; wenn sie grösser sind, so bedecken sie sich ganz mit dergleichen Krystallen, die dann auch noch leicht zu erkennen sind. Namentlich tritt auch die Reaction ein, wenn Aschen und Bodenarten auf kohlensauren Kalk untersucht werden.

25. Magnesiasalze. Die neutralen, in Wasser löslichen Magnesiasalze werden durch Ammoniak präcipitirt; der Niederschlag ist häu-

Digitized by Google

tig und ganz löslich in einer Chlorammoniumsolution. Da das letztere Salz in organischen Flüssigkeiten sehr häufig vorkommt, so hindert es die Präcipitation der Magnesia durch Ammoniak; deshalb passt das Ammoniak nur dann, wenn in einer Asche die in Wasser löslichen Magnesiasalze aufgefunden werden sollen.

Ein zuverlässigeres Reagens ist das phosphorsaure Natron, wodurch in concentrirteren Solutionen zuerst ein amorphes und späterhin ein krystallinisches Präcipitat (Fig. 73) entsteht. In verdünnten Solutionen entsteht durch phosphorsaures Natron allein kein Niederschlag. Wird aber Ammoniak zugesetzt oder wird die Solution des bibasischen phosphorsauren Ammoniaks mit überschüssigem Ammoniak versetzt, so erkennt man die Magnesia noch daran, dass Krystalle von bibasischer phosphorsaurer Ammoniak-Magnesia (Fig. 74) entstehen. Ist phosphorsaure Magnesia bereits als solche in einer Flüssigkeit enthalten, dann bildet sich das genannte Doppelsalz schon bei blossem Zusatze von Ammoniak; aus dem Harne z. B. werden dadurch Krystalle von bibasischer phosphorsaurer Ammoniakbittererde niedergeschlagen.

26. Eisen. Bei der chemischen Untersuchung organischer Substanzen lässt sich das Vorhandensein dieses Metalles meistens nur in deren Asche nachweisen, die mit Salzsäure ausgezogen wird, worin sich das vorhandene Oxydul oder Oxyd löst. Diese Solution enthält Eisenoxydul, wenn durch Zusatz von Kaliumeisencyanür ein blauer Niederschlag entsteht; sie enthält Eisenoxyd, wenn kein Niederschlag damit entsteht, dagegen aber durch Kaliumeisencyanid ebenfalls ein blauer Niederschlag sich bildet. Die beiderlei Niederschläge bestehen, wenn sie aus etwas concentrirten Solutionen von Eisensalzen kommen, aus häutigen Massen mit starken Faltungen; waren es dagegen ganz schwache Solutionen, so sind die häutigen Läppchen ganz dünn, so dass ihre Ränder kaum sichtbar sind und nur die Färbung zur Entscheidung dient.

Ein ebenfalls sehr empfindliches Reagens auf Eisenoxydsalze ist eine Auflösung von Schwefelcyankalium: sie färben sich dadurch dunkelroth. Nur darf die Solution nicht zu viel überschüssige Säure enthalten, weil sonst eine gelbliche Färbung entsteht.

Galläpfeltinctur eignet sich weniger zur mikrochemischen Reaction auf Eisen: einmal nämlich entsteht nur dann ein schwarzer Niederschlag mit Eisenoxydsalzen, wenn diese ganz neutral sind, und zweitens besteht derselbe aus sehr kleinen Molekeln, deren Farbe, bei durchfallendem Lichte wenigstens, schwer durchs Mikroskop zu erkennen ist. Auch sind die anderen angegebenen Reagentien mehr als ausreichend, um die geringsten Spuren von Eisen mit Sicherheit zu erkennen.

In organischen Fossilien kommt das Eisen nicht selten als Pyrit oder Eisenkies vor, und zwar in Formen, in denen es sehr schwer zu erkennen ist. Man kann es dann an der Eigenschaft entdecken, dass der

Digitized by Google

Pyrit in Salpetersänre sowohl wie in Salzsäure unlöslich ist, sich dagegen in kochendem Königswasser löst, worauf sich dann in dieser Solution das Eisen und die Schwefelsäure durch die gewöhnlichen Reagentien auffinden lassen. S. Harting's *Beschreibung des Bodens unter Amsterdam* in den *Verh. der eerste Klasse v. h. Kon. Nederl. Instit.* 1852 und Harting's *Description d'un diamant remarquable* in den Schriften der Königl. Niederl. Akademie von 1858.

Die übrigen Metalle kommen bei organisch-chemischen Untersnchungen zu selten vor, als dass es nöthig wäre, hier ihre Reagentien zu beschreiben.

105 Bei der mikrochemischen Untersuchung thierischer Flüssigkeiten hat man nicht blos auf die eigentlich chemischen Bestandtheile zn achten; es kommen darin auch gleichzeitig organisirte Körperchen zur Beobachtnng, deren Bestimmung oftmals gleich wichtig ist als die Ermittelung der chemischen Znsammensetzung, zumal in pathologischen Fällen.

Die folgende Tafel mag als Muster dienen, wie man von diesem Gesichtspunkte aus eine derartige Untersuchung auszuführen hat. Ich habe den Harn dazu gewählt, weil in ihm, im normalen wie im pathologischen Zustande, bei weitem die grösste Menge jener Bestandtheile vorkommen kann, die man auch anderwärts findet. Wie gross auch die Anzahl dieser möglichen Bestandtheile sein mag, eine Unze Harn oder selbst noch weniger ist vollkommen ausreichend, um mit Hülfe des Mikroskopes, einiger Objecttäfelchen, Uhrgläser, Probirgläschen und mit einer kleinen Zahl von Reagentien alle jene Bestandtheile darin zu entdecken. Jeder Arzt kann ohne viele Mühe mehrere kleine Gläser bei sich führen, um den Harn oder auch andere Flüssigkeiten von eben so vielen Kranken darin aufzunehmen, die er dann zu Hanse auf seinem Zimmer einer qnalitativen Untersuchung unterwirft. Der Anfänger wird natürlich auf eine solche Untersuchung ziemlich viel Zeit verwenden müssen, bevor er zu befriedigenden Resultateu gelangt; er wird aber auch finden, dass man durch einige Uebnng sich bald eine grosse Fertigkeit in dergleichen Untersuchnngen zu eigen machen kann, wo sie dann verhältnissmässig nur wenig Zeit rauben.

Digitized by Google

Mikrochemische qualitative Untersuchung der Harnbestandtheile im gesunden und pathologischen Zustande.

				Nachgewiesene Substanzen.
A. Die Flüssigkeit.	Klarer Theil derselben.	Beim Verdunsten eines Tropfens auf einem Objecttäfelchen bleiben übrig:	Krystalle wie Fig. 58. S. 170	Chlornatrium.
			„ „ Fig. 62. S. 172	Chlorammonium.
			„ „ Fig. 64. S. 173	Phosphorsaures Ammoniak.
			„ „ Fig. 65. S. 173	Phosphorsaures Natronammoniak.
		Es bilden sich durch Zusatz von	Kieselfluorwasserstoffsäure: Krystalle wie Fig. 60. S. 171	Natron.
			saurem oxalsaurem Kali: Krystalle wie Fig. 72. S. 178	Kalk.
			Ammoniak: Krystalle wie Fig. 75. S. 181.	Phosphorsaure Magnesia.
			Salzsäure: „ „ Fig. 81. S. 184.	Harnsäure.
		In der zur Syrupsdicke abgedampften Flüssigkeit entstehen: beim Erkalten	Krystalle wie Fig. 87. S. 187, unlöslich in Alkohol	Kreatin.
			Krystalle wie Fig. 88. S. 187, löslich in Alkohol	Kreatinin.
		In der zur Syrupsdicke abgedampften Flüssigkeit entstehen: durch Zusatz von	Salpetersäure: Krystalle wie Fig. 79. S. 183. Oxalsäure wie Fig. 80. S. 184.	Harnstoff.
			Salzsäure, Lösung des Präcipitates in Aether und Abdampfung: Krystalle wie Fig. 84 S. 186.	Hippursäure.
		In der Flüssigkeit entsteht durch Kochen ein Coagulum, durch Salpetersäure ein Niederschlag, beide löslich in Aetzkali, und durch concentrirte Salpetersäure und Ammoniak sich gelb färbend		Eiweiss.
		Salpetersäure erzeugt der Reihe nach eine grüne, blaue und rothe Färbung		Gallenfarbstoff.
		Wird eine kleine Menge der Flüssigkeit mit etwas essigsaurem Kupferoxyd erhitzt unter Zufügung von Weinsteinsäure und einem Uebermaass von Aetzkali, so entsteht ein rother Niederschlag von Kupferoxydul		Zucker (?).
		Die zur Trockne abgedampfte Flüssigkeit wird mit Alkohol ausgezogen, die alkoholische Solution abgedampft, der Rückstand in Wasser gelöst und mit kohlensaurem Bleioxyd digerirt. Wird dem klaren Theile der Flüssigkeit schwefelsaures Zinkoxyd zugesetzt, so bilden sich beim Verdunsten auf dem Objecttäfelchen Krystalle wie Fig. 86. S. 186		Milchsäure.
	Körperchen in derselben.	Kugelrunde, das Licht stark brechende Tropfen, die sich an der Oberfläche der Flüssigkeit sammeln und nach deren Verdunstung sich in Aether lösen		Fett.
		Scheibenförmige, flach eingedrückte, bei durchfallendem Lichte gelblich gefärbte, oder mehr kugelförmige und dann sehr durchsichtige ungefärbte Körperchen, von 6 bis 8 Mikromillimeter Durchmesser, durch Essigsäure spurlos verschwindend		Blut.

Nachgewiesene Substanzen.

- **B. Niederschläge.**
  - **Amorphe Bestandtheile.**
    - Beim Erwärmen der Flüssigkeit sich wieder lösend, und nach Zusatz von Essigsäure oder Salzsäure Krystalle wie Fig 81 zeigend.
      - Nach Behandlung mit Salzsäure und Verdunstung auf einem Objecttäfelchen:
        - Krystalle wie Fig. 62 . . . . — **Harns. Ammoniak.**
        - Krystalle wie Fig. 58. Kieselfluorwasserstoffsäure erzeugt in der wässerigen Solution:
          - Krystalle wie Fig. 60. — **Harnsaures Natron.**
          - Amorphes Präcipitat, aber mit Weinsteinsäure Krystalle wie Fig. 67 — **Harnsaures Kali.**
      - Der in Essigsäure lösliche Theil giebt, nach vorgängiger Abdampfung u. Wiederauflösung in Wasser, mit saurem oxalsauren Kali:
        - einen Niederschlag von Krystallen wie Fig. 72 . . . . . . — **Harnsaurer Kalk.**
        - keinen Niederschlag, aber mit phosphorsaurem Natron und Ammoniak einen Niederschlag von Krystallen wie Fig. 76 . — **HarnsaureMagnesia.**
    - Durch Behandlung mit Essigsäure:
      - Löslich. In der Solution entstehen durch verdünnte Schwefelsäure Krystalle wie Fig. 70. Die Auflösung erfolgt aber:
        - unter Aufbrausen. . — **Kohlensaurer Kalk.**
        - ohne Aufbrausen. . — **Phosphors. Kalk.**
      - Unlöslich:
        - Unlöslich in Salzsäure, färbt sich roth, wenn erwärmt und mit Salpetersäure und Ammoniak versetzt wird — **Harnsäure.**
        - Löslich in Salzsäure . . . . — **Oxalsaurer Kalk.**
  - **Krystalle.**
    - wie Fig. 75, löslich in Essigsäure, Salzsäure und Salpetersäure, unlöslich in Ammoniak . . . . — **Phosphorsaure Ammoniakmagnesia.**
    - wie Fig. 72 I, M, L; unlöslich in Essigsäure, löslich in Salzsäure und Salpetersäure . . . . — **Oxalsaurer Kalk.**
    - wie Fig. 81, unlöslich in Salz- und Salpetersäure, beim Erhitzen mit Salpetersäure und Ammoniak sich röthend . . — **Harnsäure.**
    - wie Fig. 90, löslich in Salzsäure und Ammoniak, durch Kochen mit einer Solution von Bleioxyd und Kali sich schwärzend — **Cystin.**
  - **Organisirte Bestandtheile.**
    - Scheibenförmige, schwach eingedrückte, bei durchfallendem Lichte hellgelb gefärbte, oder mehr kugelförmige blassere Körperchen, manchmal mit eingekerbten Rändern, von 6 bis 8 Mikromillimeter Durchmesser, durch Essigsäure verschwindend . . . . — **Blutkörperchen.**
    - Abgeplattete, mehr oder weniger eckige Zellen von 25 bis 30 Mikromillimeter Durchmesser, in denen durch Essigsäure der Kern scharf hervortritt . . . . — **Epithelialzellen.**
    - Grössere und kleinere, wenig durchsichtige Kügelchen, die aus zusammengedrängten Molekeln mit dunkelen Conturen bestehen und durch Essigsäure nicht verändert werden . — **Entzündungskugeln.**
    - Kugelrunde, blasse Körperchen von 8 bis 10 Mikromillimeter Durchmesser, welche durch Essigsäure die Conturen verlieren und 1 bis 4 Kerne zeigen . . . . — **Eiterkörperchen.**
    - Wurstförmige, blasse, bald ganz durchsichtige, bald kleine Molekeln einschliessende Körperchen von 25 bis 40 Mikromillimeter Durchmesser, und 4 bis 10 Mal länger, in Kali und Essigsäure löslich, mit Ammoniak und Salpetersäure sich gelb färbend . . . . — **Fibrinexsudate aus den Harnkanälchen.**

Ich habe für den Gebrauch dieser Tabelle nur noch beizufügen, dass die kurzen darin angegebenen Diagnosen nicht für alle Fälle ausreichen werden und es manchmal nöthig sein kann, die in den beiden vorhergehenden §§. ausführlicher angegebenen Charaktere zu Rathe zu ziehen, wenn die Natur des Gefundenen ganz sicher bestimmt werden soll. Der Gang der Untersuchung muss auch je nach den Umständen etwas abgeändert werden. Ist z. B. Eiweiss im Harne, so darf, wie früher bemerkt wurde, der Harnstoff nicht ohne Weiteres in der zur Syrupsdicke abgedampften Flüssigkeit aufgesucht werden, sondern nach Abdampfung der ganzen Flüssigkeit muss man den Rückstand erst mit Alkohol ausziehen. So kommen auch noch andere derartige Fälle vor, wofür aber der in der Chemie nicht ganz Unerfahrene keiner besonderen Anweisung bedarf.

Endlich hat man auch daran zu denken, dass sehr viele Substanzen, die als Nahrungsmittel oder als Arzneimittel gebraucht werden, in den Harn übergehen und als solche, oder auch in etwas verändertem Zustande sich darin wieder auffinden lassen. Indessen würde eine Aufzählung dieser Substanzen und eine Anweisung dazu, wie sie im gegebenen Falle aufgesucht werden sollen, der mehr generellen Tendenz dieses Abschnittes nicht entsprechen.

Endlich muss ich hier noch kurz des Einflusses gedenken, den man- 106
che der erwähnten Prüfungsmittel auf die Form und Sichtbarkeit einzelner Elementartheile ausüben, und die man deshalb als **morphologische Reagentien** bezeichnen könnte, da ihrer Anwendung oftmals nur die Absicht zu Grunde liegt, das Gefüge der zu untersuchenden Objecte deutlicher zu machen. Ausführlichere Mittheilungen über einige dieser morphologischen Reagentien finden sich schon in Mulder's *physiologischer Chemie*, in den *Scheikundige Onderzoekingen*. III. 1845, und in den *Holländischen Beiträgen*. I. 1847.

Ich will noch einige andere beifügen, die man in neuerer Zeit kennen gelernt hat.

Das inwendige Bläschen (*Utriculus internus s. primordialis* Mohl), welches in jugendlichen Pflanzenzellen den Inhalt des Protoplasma umgiebt, wird sichtbar, sobald man Alkohol, oder die Mehrzahl der Säuren und Salzsolutionen einwirken lässt. Recht gut kommt dasselbe zum Vorschein, wenn Durchschnitte pflanzlicher Substanzen ein Paar Stunden in **Sublimatsolution** (1 auf 100 Thle. Wasser) oder auch in einer saturirten **Chlorcalciumsolution** liegen. Eine ähnliche Wirkung übt auch concentrirtes **Glycerin**.

Um die Kerne in jugendlichen Pflanzenzellen sichtbar zu machen, hilft manchmal das Befeuchten der Theile mit Essigsäure, oder noch besser mit verdünnter Salpetersäure; man sieht dann vielleicht mit grosser Deutlichkeit Kerne, von denen früher keine Spur vorhanden war.

Ich habe bereits oben (S. 139) die verschiedenen Färbemittel bespro-

Digitized by Google

chen, mittelst deren schwer zu erkennende Einzelnheiten der organischen Theile sichtbar gemacht werden können, nämlich Jod, Karmin, Anilinfarben, Indigokarmin, salpetersaures Silber. Hier habe ich nur noch beizufügen, dass Färbungen, die durch chemische Reagentien hervorgerufen werden, manchmal ebenfalls dazu verhelfen. So treten die kleinen Löcher in der Cellulosenwand jugendlicher Pflanzenzellen ganz deutlich hervor, wenn durch Schwefelsäure und Jod oder durch eine Auflösung von Jod in Zinkchlorid die Cellulose in Jodamyloid umgewandelt worden ist. Knochen- und Zahndurchschnitte legt man ein Paar Stunden in eine concentrirte Solution von Blutlaugensalz, wäscht sie dann gut mit Wasser aus und befeuchtet sie hierauf mit einer Solution eines Eisenoxydsalzes. Natürlicher Weise zeigt sich die blaue Färbung dann an jenen Stellen am deutlichsten, wo die erstere Flüssigkeit am meisten eingedrungen war, bei der Knochensubstanz also in den geöffneten Knochenzellen und an den Rändern der concentrischen Lamellen.

Zu dieser Klasse von färbenden Substanzen gehören auch die feinzertheilten, in Wasser unlöslichen Farbstoffe, mittelst deren man die Wege sichtbar macht, in denen sich bei kleinen Wasserthieren, namentlich bei Infusorien und Räderthieren, die Nahrungssubstanz bewegt. Am besten nimmt man dazu Wasserfarben, wie Karmin, Indigo, Tusche. Die nämlichen Farbstoffe eignen sich auch wegen ihrer ganz kleinen Molekeln, um die Flimmerbewegung an feinen Oberflächen sichtbar zu machen.

Von den Mineralsäuren kann die concentrirte Schwefelsäure dazu benutzt werden, um das sonst oftmals nur schwer sichtbare Epithelium der Haare zu isoliren. An der Salpetersäure aber, welche die Proteïnsubstanzen gelb färbt, haben wir ein ganz vorzügliches Prüfungsmittel für organische Muskelfasern, worüber bereits früher (S. 192) das Nöthige nebst den erforderlichen Vorsichtsmaassregeln angegeben worden ist. Auch kommen manche Theile durch Einwirkung dieser Säure besser zum Vorschein, z. B. die feinsten sonst schwer erkennbaren Nervenfädchen der Weichthiere (Pappenheim und Berthelen, *Comptes rendus*, 1848. XXVI, p. 338). Um die Muskelfasern zu isoliren und die darin endigenden Nervenfasern sichtbar zu machen, wurde von Budge und späterhin von W. Kühne (*Ueber die peripherischen Endorgane der motorischen Nerven.* Leipz. 1862. S. 6) ein Gemisch aus chlorsaurem Kali und Salpetersäure benutzt, wie es die Botaniker zur Auflösung der Intercellularsubstanz und zum Freimachen der Zellen angewendet haben. Doch fand Kühne (a. a. O. S. 11) für Froschmuskeln wenigstens es besser, wenn man sie mit verdünnter Schwefelsäure (1 Th. Acid. concentr. auf 1000 Theile Wasser) behandelte. Wird der Muskel nachher mit Wasser ausgewaschen, so zerfällt er gewöhnlich von selbst in Fasern. Tritt das nicht ein, so schüttelt man ihn in Wasser, dem etwas Quecksilber zugesetzt ist; das Quecksilber theilt sich in kleine Kügelchen, deren jedes

einen gewissen mechanischen Effect übt, wodurch das vorgesteckte Ziel erreicht wird.

Die Salzsäure in verschiedenartiger Verdünnung eignet sich zur Auflösung der intercellulären Substauz verschiedener Gewebe und Organe, z. B. der Muskeln, der glatten wie der quergestreiften, desgleichen zum Bloslegen der Bindegewebskörperchen in den verschiedenen Formen des Bindegewebes, zum Freimachen der Harnkanälchen in der Nierensubstauz u. s. w. Ferner haben Ludwig (*Sitzungsb. der kais. Akad. zu Wien.* XXXXVIII. Abth. 2. S. 691) und nach ihm Tomsa (Ebend. LI. Abth. 1. S. 83) 90procentigen Alkohol mit $^1/_2$ bis 1 Procentvolmen starker Salzsäure gemischt und thierische Gewebe ein Paar Stunden damit gekocht; dadurch werden einzelne Bestandtheile, namentlich die leimgebende und elastische Kittsubstanz, löslich, und lassen sich weiterhin durch Aussüssen mit Wasser fortschaffen. Bei Untersuchung des Drüsengewebes und der Nervenendigungen kann diese Methode brauchbar sein. Zellen, Nervenzweige, die Membranae propriae vasorum, Drüsenkanälchen widerstehen dieser Behandlnng am längsten und lassen sich auf solche Weise isoliren.

Noch häufigere Anwendung finden einige Pflanzensäuren, namentlich Weinsteinsänre, Citronensäure, Essigsänre, die in der Wirkung ziemlich übereinstimmend sind, obwohl die letztgenannte am meisten in Gebrauch ist. Der concentrirten Essigsäure kommt vor Allem die Eigenschaft zu, alle Kerne viel deutlicher zu machen, so dass deren Vorhandensein oftmals erst durch diese Säure erkennbar wird. Manchmal muss man noch vorher mit Zuckerwasser befeuchten, wenn man z. B. die Kerne in den Leberzellen deutlich machen will. Ferner quellen alle proteïnhaltigen Substanzen in Essigsäure stark auf, und später lösen sie sich darin. Auf diese Eigenschaft gründet sich Bowman's Verfahren, das Sarcolemma der Muskelprimitivbündel durch Essigsäure zur Ansicht zu bringen, weil die durch Essigsäure stark aufgeqnollenen Primitivfasern sich besenförmig aus der unveränderten häutigen Scheide hervordrängen.

Die Elementarfasern des leimgebenden Gewebes quellen ebenfalls in Essigsäure auf; die ganze Masse wird dadurch zugleich weit durchsichtiger und die einzelnen Fasern verlieren die Conturen. Da nun die elastischen Fasern, die immer in mehr oder weniger grosser Menge neben dem leimgebenden Gewebe vorkommen, durch Essigsäure gar nicht verändert werden, so dient diese auch dazu, elastische Fasern und deren Antheil an der Bildung eines Gewebes zu ermitteln.

Sehr gute Dienste leistet die Essigsäure ferner, um Nervenprimitivröhren sowie Capillaren inmitten der Gewebe, worin sie sich verbreiten, sichtbar zu machen. Alle umgebenden Theile nämlich, die grösstentheils aus Proteïnsubstanzen oder aus Fasern des leimgebenden Gewebes bestehen, werden durch Essigsäure ganz durchsichtig, während weder die Ca-

Digitized by Google

pillaren noch die Nervenröhren dadurch eine in die Augen fallende Veränderung erleiden, und die Netze der ersteren sowie der geschlängelte Verlauf der letzteren werden mit vollkommener Deutlichkeit erkennbar. Ich muss jedoch bemerken, dass eine Verwechselung beider recht gut vorkommen kann, und dass man in vielen Fällen nur durch eine sehr genaue Untersuchung sich davor zu schützen vermag, wobei vornehmlich auf den Ursprung der Röhrchen oder Kanälchen zu achten ist. In diesen letzteren Fällen muss übrigens die Essigsäure mit viel Wasser verdünnt sein. Die Sichtbarmachung der feinen peripherischen Nervenenden gelingt manchmal recht gut, wenn das Präparat einige Zeit in eine Mischung von Wasser und sehr wenig Essigsäure gelegt wird, etwa 2 bis 8 Tropfen Eisessig auf 1 Unze destillirtes Wasser.

In anderen Fällen, zumal bei Gehirn- und Rückenmarkspräparaten, leistet auch eine Mischung aus Essigsäure und Alkohol gute Dienste. Durch den Alkohol erstarren die eiweisshaltigen Substanzen und es werden zarte daraus bestehende Theile gleichsam consolidirt, während durch die Essigsäure das intercelluläre Bindegewebe aufgelöst wird; somit wird das ganze Gewebe mehr aufgehellt. Clarke, der diese Mischung zuerst benutzte, nahm 1 Theil Essigsäure auf 3 Theile Alkohol. Moleschott hat zweierlei Mischungen: die stärkere besteht aus 1 Theil starker Essigsäure, 1 Theil Alkohol von 0,815 specif. Gew. und 2 Theilen destillirten Wassers; die schwächere enthält 1 Theil Essigsäure auf 25 Theile Alkohol und 50 Theile destillirtes Wasser.

Nach Beale kann man diesen Mischungen auch noch Glycerin in wechselndem relativen Mengenverhältnisse zusetzen. Die Flüssigkeit bekommt dadurch einen höheren Brechungsindex und ihr aufhellendes Vermögen muss deshalb zunehmen. Für einzelne Fälle will Beale überdies noch etwas Salpetersäure zusetzen, deren Nutzen nur in einem Deutlicherwerden der aus Proteïnsubstanzen bestehenden Theile gesucht werden darf; denn diese erstarren dadurch, wie vom Alkohol, und überdies nehmen sie auch eine schwache Färbung an. Zu gleichem Zwecke kann man auch an einen Zusatz von Chromsäure, von Sublimatsolution u. s. w. denken. Mit Einem Worte, dergleichen Mischungen lassen sich auf hundertfache Weise variiren, je nach dem Zwecke, den man damit verfolgt, und je nach der Art des untersuchten Gewebes. Es ist immer räthlich, eine Anzahl solcher Mischungen in Bereitschaft zu halten und durch den Versuch jene zu ermitteln, welche für den gegebenen Fall dem Zwecke am besten entspricht.

Nach Max Schultze zeichnet sich die Oxalsäure in ihrer Einwirkung auf die thierischen Gewebe in gewisser Beziehung vor der Essigsäure und den anderen erwähnten organischen Säuren aus, weshalb sie für einzelne Fälle den Vorzug verdienen kann. In einer starken Solution (1 Theil auf 15 Theile Wasser) erfolgt ein Aufquellen und grössere Durch-

Digitized by Google

sichtigkeit aller leimgebenden Gewebe, also namentlich des Bindegewebes, während die aus Proteïnsubstanzen bestehenden Elementartheile ihre scharfen Umrisse behalten, etwas erhärten und leicht isolirt werden können. Selbst Retinastäbchen, Riechhautzellen und andere zarte Gebilde sollen darin unverändert bleiben.

Zu den unentbehrlichen Hülfsmitteln bei der mikrochemischen Untersuchung thierischer Gewebe gehören auch die Aetzalkalien, wie Donders und Mulder zuerst mit Bestimmtheit dargethan haben. Ihre Wirkung fällt verschieden aus, je nachdem sie mehr concentrirt oder stärker mit Wasser verdünnt in Anwendung kommen. Es hat manchmal den Anschein, als wirkte die concentrirte Flüssigkeit nicht gleich stark als die verdünnte; denn unter den thierischen Substanzen kommen solche vor, die durch Aetzalkalien in einen zur Lösung sich eignenden Zustand versetzt werden, sich jedoch in der concentrirten Flüssigkeit nicht wirklich lösen, wohl aber alsbald, wenn Wasser hinzugefügt wird. Dieses Verhalten darf man namentlich beim Aetzkali und beim Aetznatron nicht aus den Augen verlieren, bei denen die Erreichung bestimmter Effecte gar sehr vom Concentrationszustande abhängig ist. Weniger ist dies der Fall beim Ammoniak, dessen Solution immer mehr wasserhaltig ist. Deshalb erscheint es räthlich, Aetzkali und Aetznatron immer in verschiedenem Concentrationszustande in Bereitschaft zu halten, z. B. 1 Theil auf 1, $1^1/_2$, 2, 3, 5, 10, 20 Theile Wasser. Ich brauche aber wohl nicht besonders daran zu erinnern, dass diese Mischungen immer in gut schliessenden Fläschchen aufbewahrt werden müssen.

Im Allgemeinen lösen sich alle Proteïnsubtanzen nach kürzerer oder längerer Zeit in verdünnten Solutionen der Aetzalkalien. Das Gleiche gilt von den meisten Intercellularsubstanzen, die sich wirklich darin lösen oder doch dergestalt aufquellen, dass sie ganz durchscheinend werden und sich der Beobachtung entziehen. Aber nicht blos die chemische Constitution, sondern auch der Aggregationszustand ist darauf von Einfluss, und so findet man bisweilen, dass Elementartheile, die sich chemisch wenig von einander unterscheiden, im Verhalten gegen Aetzalkalien doch grosse Verschiedenheiten erkennen lassen, so dass nach einander Einzelnheiten in der Structur der Gewebe zum Vorschein kommen, die durch längere Einwirkung wiederum verschwinden. Deshalb kommt bei dieser Art von Reagentien auch viel darauf an, wie lange sie auf die Gewebe eingewirkt haben.

Zur Untersuchung aller Horngewebe sind Aetzalkalien unerlässlich, durch sie kommt erst die Zusammensetzung aus wahren Zellen zur Ansicht. Lässt man eine gesättigte Solution von Aetzkali oder Aetznatron auf Durchschnitte solcher Gewebe einwirken, so werden dieselben anscheinend nur wenig verändert, wenn auch die Einwirkung mehrere Stunden, ja in manchen Fällen selbst mehrere Tage stattfand. Setzt man aber dann Wasser zu, so kommt es zu einer ergiebigen Osmose. Die Zellen

quellen auf, vertauschen die platte Form mit der runden, und nun erkennt man, dass die sie verbindende Intercellularsubstanz in den löslichen Zustand übergegangen ist und die aneinanderstossenden Zellen sich leicht isoliren lassen. Aber auch zur Isolirung unverhornter Epithelialzellen im Muskelgewebe, an den Nierenkanälchen u. s. w. können die Aetzalkalien gute Dienste leisten.

Die Capillaren und Nervenprimitivröhren bleiben in den Aetzalkalien auch ziemlich lange sichtbar; ja eine nicht zu concentrirte Kalium- oder Natriumsolution gehört zu den vorzüglichsten Mitteln, um die Nervenröhren inmitten der übrigen Elementartheile, zwischen denen sie sich ausbreiten, kenntlich zu machen, namentlich den noch mit doppelten Conturen versehenen Theil derselben.

Wegen des verschiedenen Verhaltens zu den Nervenröhren und zum Bindegewebe kann Aetzkali sowohl wie Aetznatron dazu benutzt werden, den Verlauf der Nervenröhren in fibrösen Geweben und in der Hornhaut aufzuhellen. Nur darf dazu keine saturirte Solution genommen werden, sondern man muss dieselbe vorher mit 10 bis 15 Theilen Wasser verdünnen. Auch hat man bei dieser Behandlung im Auge zu behalten, dass es nicht die Hülle der Nervenröhrchen ist, welche sichtbar wird, sondern die Fettschicht, welche den Röhreninhalt umgiebt und die doppelten Conturen bewirkt. Die feineren Verästelungen der Nervenröhrchen, denen diese doppelten Conturen fehlen, sind daher nicht zu erkennen oder wenigstens entziehen sie sich bald der Wahrnehmung.

Für manche Untersuchungen empfiehlt Beale 8 bis 10 Tropfen Aetznatron auf 1 Unze Weingeist, namentlich bei Substanzen, worin beginnende Verknöcherung stattfindet. Die weichen Theile werden darin ganz durchscheinend, die verkalkten Partien dagegen bleiben unverändert und werden somit leichter erkennbar. Auch die wässerigen Solutionen wirken in solcher Weise. Bei pathologischen Producten und bei Embryonen, die vor Verderbniss geschützt werden sollen, kann das Einlegen in eine solche weingeistige Lösung des Aetznatron gut sein.

Als Erkennungs- und Auflösungsmittel der Cellulose habe ich schon oben (S. 197) das Kupferoxydammoniak genannt. Das nämliche Reagens kann auch zur Aufhellung einiger eigenthümlichen Structurverhältnisse dienen. Bei der Pflanzenanalyse lassen sich die incrustirenden Lagen der Zellenwände damit isoliren. Bei der Untersuchung thierischer Gewebe kann dasselbe in jenen Fällen, wo Cellulose in die Zusammensetzung der Theile eingeht, nützliche Dienste erweisen, und andererseits kommt noch in Betracht, dass das Ammoniak manche Intercellularsubstanzen löst und dass gleichzeitig das Kupfersalz färbend einwirkt, daher die Einwirkungsweise besser verfolgt werden kann und manchmal auch einzelne Dinge hervortreten, die ohne dieses Hülfsmittel nicht gleich gut wahrnehmbar sein würden.

Digitized by Google

Unter den morphologischen Reagentien kann anch die Ueberosmiumsäure einen Platz finden. Leicht oxydirbare Körper und auch manche organische Bildungen scheiden aus derselben einen schwarzen oder schwarzblauen Körper aus, der eine niedrigere Oxydationsstufe oder vielleicht das Metall selbst ist. Diese Eigenschaft benutzte Max Schultze (*Verhandl. des naturh. Vereins*, 1864. S. 61 und *Archiv für mikrosk. Anat.* I, S. 124), um die im Leuchtorgane von Lampyris vorkommenden Tracheenzellen erkennbar zu machen. Später hat derselbe mit Rudneff (Ebend. S. 299) diese Eigenschaft zur Untersnchnng auch noch anderer Theile benutzt. Fett, in den Fettzellen sowohl wie als Nervenmark, wirkt am schnellsten reducirend. Letztgenannte Eigenschaft kann bei Untersuchungen über die Vertheilung der Nervenfasern zu Statten kommen. Andere Elementartheile färben sich ebenfalls, nur langsamer. In pflanzlichen Geweben sind es neben den fetten Oelen besonders die Gerbstoffe, welche ausserordentlich schnell redncirend wirken. Max Schultze wendet die Ueberosmiumsäure in verschiedener Concentration an, 1 Theil auf 100 bis 1000 Theile Wasser.

Ferner erwähne ich noch des Collodinm, welches von Pflüger (*Archiv für Anat. und Phys.* 1859. S. 132) als ein vorzügliches Mittel bezeichnet wurde, um den Axencylinder der Nerven, und zwar augenblicklich, zur Anschauung zu bringen.

Zur Untersuchung der Sehnen wurde von Rollett (*Sitzungsb. der kaiserl. Akad.* XXX, S. 37) Kalkwasser und Barytwasser empfohlen. Die Wirkung des letzteren ist eine raschere. Hat die sehnige Substanz die gehörige Zeit darin gelegen, so wird sie mit Wasser ausgezogen, dem etwas Essigsäure zugesetzt war, und sie lässt sich dann leicht mit Nadeln zerzupfen. Durch die Behandlung mit Kalk- oder Barytwasser wird nämlich eine verbindende Substanz gelöst, die durch Säuren präcipitirt, vielleicht Casein. Kalkwasser benutzt Rollett aber auch zur Untersuchung der Haut. Hat diese 8 Tage darin gelegen, so wird der Kalk fortgeschafft durch Abspülen mit Wasser, dem etwas Säure zugesetzt ist. Nun kommt das zu untersnchende Hautstückchen in eine schwache Tanninsolntion, und von Zeit zu Zeit wird noch mehr Tannin zugesetzt, wenn durch Zusatz einer Leimsolntion zur Flüssigkeit kein Präcipitat mehr entsteht. So wird die Haut gegerbt, und an dieser gegerbten Haut lässt sich die elementare Zusammensetzung besser erkennen. Ist die Haut zu dünn, um Durchschnitte davon zu machen, so lässt Rollett vorher noch eine Imbibition mit Collodium eintreten. Die davon genommenen trockenen Durchschnitte werden durch Terpentinöl vom überflüssigen Collodium befreit und dann in Damarfirniss oder in Canadabalsam aufbewahrt. Eine solche Imbibition mit Collodium dürfte sich anch wohl bei anderen Geweben und Organen zur Anfertigung von Durchschnitten bewähren.

Fünfter Abschnitt.

Das Messen mikroskopischer Objecte.

107 In mehr denn einer Beziehung ist es von Wichtigkeit, dass man die Grösse der durchs Mikroskop beobachteten Objecte bestimmen kann. Hier stehen uns nur die durchs Gesichtsorgan wahrnehmbaren Eigenschaften der Objecte zu Gebote, um ihre Natur zu bestimmen und sie von anderen Körpern zu unterscheiden, und da gewinnt jede Eigenschaft an Bedeutung; die Grösse der Objecte gehört aber zu den wichtigsten Erkennungsmitteln derselben, weil sie zu den wenigen zählt, deren Resultate von der Subjectivität des Beobachters durchaus unabhängig sind.

Man hat sich wohl vorgestellt, sehr genaue Grössenbestimmungen könnten wenigstens bei organischen Körpern, die in der Grösse so sehr differiren, nicht verlangt werden, und man dürfe sich damit begnügen, nur ihre ungefähre Grösse zu kennen und diese durch eine Zahl auszudrücken, welche durch Einfachheit der Phantasie zu Hülfe kommt, und wodurch nur eine Vorstellung von der Kleinheit der mikroskopischen Objecte entstehen sollte, ohne dass man diese Zahl immer als das eigentliche Resultat genau ausgeführter Messungen anzusehen hätte. Indessen ist die Ansicht ganz falsch, dass es bei organischen Objecten auf Genauigkeit nicht ankomme. Unter 100 Negerschädeln wird man freilich keine zwei antreffen, die vollkommen gleiche Grösse haben, und das nämliche wird bei einer gleichen Anzahl von Europäerschädeln der Fall sein. Vergleicht man ferner Schädel um Schädel in beiden Reihen, so wird man vielleicht unter den Schädeln der ersten Reihe einige antreffen, welche es einzelnen Schädeln der zweiten Reihe an Grösse zuvorthun. Nimmt man dagegen die Mittelwerthe, die erhalten werden, wenn man die speciellen Grössen in jeder der beiden Reihen zusammenzählt und durch 100 dividirt, so wird man ohne Zweifel finden, dass dieser Mittelwerth für die erste Reihe ein kleinerer ist als für die zweite, und man ist deshalb auch

Digitized by Google

vollkommen berechtigt, als allgemeine Regel aufzustellen, dass der Neger einen kleineren Schädel hat als der Europäer.

Ganz ebenso verhält es sich mit den Elementartheilen der organischen Gewebe, die unter einander in Grösse differiren. Denn diese Differenz hält sich innerhalb bestimmter Grenzen, die man kennen lernen kann; hat man eine hinreichende Anzahl Messungen solcher Elementartheile vorgenommen, so erhält man einen mittleren Werth, der, abgesehen von einem wahrscheinlichen bei solchen Resultaten nicht zu vermeidenden Fehler, als ein feststehender gelten kann und somit zu den besten Charakteren der Objecte gehört.

Soll ein solcher Mittelwerth genau sein, so müssen auch alle Einzel- 108
bestimmungen möglichst genau sein, und darauf kommt besonders viel an, wenn man diese Mittelwerthe Berechnungen zu Grunde legt, wodurch die numerische Entwickelung der die organischen Gewebe zusammensetzenden Elemente während der verschiedenen Lebensperioden ausgedrückt werden soll.

Die beste mikrometrische Methode ist demnach im Allgemeinen jene, welche so viel möglich ganz genaue Resultate liefert. Wie aber das mikroskopische Sehen seine Grenzen hat, so gilt dies auch von der mikrometrischen Grössenbestimmung der Objecte: das Aeusserste, was man billiger Weise von einer mikrometrischen Methode verlangen kann, ist dies, dass sie uns in den Stand setzt, Resultate zu erzielen, deren wahrscheinlicher Fehler kleiner ist als das kleinste Object, welches noch durchs Mikroskop wahrnehmbar ist. Es wird sich bald zeigen, dass unter den verschiedenen mikrometrischen Methoden solche vorkommen, wodurch allerdings die äusserste Grenze der Genauigkeit erreicht werden kann.

Es genügt aber nicht, dass man durch eine mikrometrische Methode 109
Resultate erlangt, denen die möglichste relative Genauigkeit zuerkannt werden muss, diese Resultate müssen auch wirklich ganz genaue sein, d. h. die durch die Messung erhaltenen Maasstheile müssen wirkliche Unterabtheilungen eines allgemeinen Mustermaasses darstellen.

Dieser Forderung genügt auch nicht ein einziges der auf mechanischem Wege gebildeten Mikrometer, wie mich eine zu diesem Zwecke unternommene Prüfung einer Anzahl solcher Instrumente aus den besten Werkstätten gelehrt hat (Harting, *Recherches micrométriques sur le développement des tissus et des organes du corps humain, précédées d'un examen critique des différentes methodes micrométriques.* Utrecht 1845). Die aufgefundenen Verschiedenheiten waren auch keineswegs so unbedeutend, dass man sie ohne grossen Irrthum ausser Acht lassen könnte; sie erreichten $^1/_{20}$, ja in Einem Falle selbst $^1/_5$ der gleichnamigen Maasstheile anderer Mikrometer.

Digitized by Google

Die mit solchen Instrumenten ausgeführten Messungen sind demnach nicht mehr vergleichbar, und ist es wünschenswerth, ein Mittel zu besitzen, wodurch man mit ausreichender Sicherheit die genaue Grösse der Abtheilungen jedes Mikrometers bestimmen kann. Hat man einmal ermittelt, um wie viel Male diese Abtheilungen kleiner oder grösser als das wahre Maass sind, dann fällt es nicht schwer, die gefundene Grösse auf die wahre Grösse zu reduciren.

Das hierzu dienende Mittel ist ein sehr einfaches, und schon vor mehr als einem Jahrhundert wurde es der Hauptsache nach von Jurin anempfohlen. Man braucht nämlich nur einen dünnen Metalldraht eng anschliessend um einen dickeren zu winden, alsdann die Windungen zu zählen und die Länge des umwundenen Theiles zu bestimmen. Dividirt man diese Länge durch die Anzahl der Windungen, so erhält man die Dicke des Drahtes als Quotienten.

Will man sich auf diese Weise einen genauen Maassstab verschaffen, so sind verschiedene Umstände dabei zu beachten.

a. Der zum Umwinden genommene Draht muss überall gleiche Dicke haben, wovon man sich durch Untersuchung überzeugen muss. Nimmt man eine messingene Claviersaite, die sich ganz gut dazu eignet und in jedem Eisenladen zu haben ist, so darf man nicht vergessen, dass eine solche auf der gewölbten, d. h. bei der Aufwindung dem Auge zugekehrten Seite immer etwas dicker gefunden wird, als wenn man den Draht um einen Winkel von 90° dreht und nun misst. Diese ungleiche Dicke ist gerade, wie bei einem Haar und auch noch in anderen Fällen, der Grund, warum sich ein solcher Draht umrollt. Hat man also einmal durch Zählen der Windungen die Dicke bestimmt, so müssen auch alle späteren Messungen auf der nämlichen Seite ausgeführt werden.

b. Gebraucht man einen Messingdraht, so muss dieser um einen ziemlich dicken, etwa 6 bis 8 Millimeter messenden Eisendraht gewunden werden. Da beide Metalle verschiedenfarbig sind, so ist man besser im Stande, mittelst einer gut vergrössernden Lupe, oder noch lieber mit dem zusammengesetzten Mikroskope bei 40- bis 50maliger Vergrösserung zu untersuchen, ob die Windungen gehörig an einander schliessen; denn davon hängt natürlich die Genauigkeit des Resultates zum grössten Theile ab.

c. Die Umwindung wird am besten auf einer Drehbank vorgenommen, namentlich deshalb, weil man dann eher im Stande ist, die Zahl der Umwindungen zu bestimmen, indem man die Umdrehungen der obersten Scheibe zählt.

d. Selbstverständlich muss die Länge der Gesammtwindungen mit der grössten Genauigkeit gemessen werden, da ja die Genauigkeit der ganzen Methode im directen Verhältnisse zur Anzahl der Windungen steht.

Beispielsweise will ich mittheilen, wie ich auf die genannte Weise die Dicke einer messingenen Claviersaite bestimmt habe. Auf die mittelst eines höchst genauen Meters gemessene und abgesteckte Länge von 140 Millimetern des dicken Drahtes gingen 1048 Windungen. Diese Saite war demnach $^{140}/_{1048}$ Millimeter = 0,13359 Millimeter dick. Da die Anzahl der Windungen bis auf höchstens eine halbe Windung mit Zuverlässigkeit bekannt ist, so kann die grösste Differenz höchstens $^{1}/_{2000}$ betragen, also für den Durchmesser des Drahtes nicht mehr als etwa $^{1}/_{14000}$ Millimeter; somit darf die gefundene Zahl bis in die vierte Decimalstelle als vollkommen richtig angesehen werden. Ich maass dann die Dicke dieses Drahtes an der gewölbten Seite und eben so, nachdem ich ihn um 90° umgedreht hatte, mit einem Ocularschraubenmikrometer, und fand den letzteren Durchmesser um 0,00299 Millimeter kleiner.

Benutzt man die also gefundene Dicke eines solchen Drahtes als Maassstab, so lassen sich damit nicht nur die Theilungen von Glas- und Schraubenmikrometern vergleichen, sondern es ist auch mit grosser Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass die gleichen Verhältnisse für alle Mikrometer gültig sind, die aus der nämlichen Werkstätte kommen und mit dem nämlichen Theilinstrumente angefertigt wurden. Giebt daher ein Beobachter bei Publication seiner Messungen an, woher das von ihm benutzte Instrument oder der von ihm zu Grunde gelegte mikrometrische Maassstab stammt, so vermag man seine gefundenen Zahlen auf ihre wahre Grösse zu reduciren, indem man sie mit einem bestimmten Coëfficienten multiplicirt, der durch die frühere Untersuchung eines aus der nämlichen Werkstätte kommenden Mikrometers aufgefunden wurde. So hat mich eine sorgfältige Prüfung der nachbenannten Mikrometer belehrt, dass die bei ihrem Gebrauche ermittelten Werthe mit den nebenanstehenden Zahlen multiplicirt werden müssen, um auf den wahren Werth erhoben zu werden, den die obengenannte Metallsaite bestimmt:

Schraubenmikrometer von Schiek . . .	0,937
Glasmikrometer von Oberhäuser . . .	0,959
Schraubenmikrometer von Powell . . .	0,967
Glasmikrometer von Ch. Chevalier . .	0,969
Glasmikrometer von Dollond	0,981
Schraubenmikrometer von Plössl . . .	0,991
Glasmikrometer von Plössl	1,067

Es fragt sich weiterhin, wie das gefundene mikrometrische Maass ausgedrückt werden soll. Ein doppelter Zweck ist dabei im Auge zu halten: 110
einmal nämlich soll durch eine Ziffer die Vorstellung von der Grösse des gemessenen Objectes erleichtert werden, und zweitens soll diese Ziffer den nöthigen Grad von Genauigkeit besitzen und bei Rechnungen auch leicht zu handhaben sein.

Digitized by Google

Dem erstgenannten Zwecke entspricht es am besten, wenn die gefundene Grösse durch einen gemeinen Bruch ausgedrückt wird. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass $^1/_{226}$ eine deutlichere Vorstellung giebt als 0,004424, zumal auch die erste Zahl der zweiten an Genauigkeit nichts nachgiebt, da die Differenz einer Einheit des Nenners erst in der letzten Zahl des Decimalbruches zum Vorschein kommt, also nur Millionstheile des Ganzen betrifft. Anders verhält es sich freilich bei der Bezeichnung grösserer Maasstheile: alle Grössen, die zwischen 0,03776 und 0,03929 liegen, lassen sich in der Form des gemeinen Bruches nur durch $^1/_{26}$ ausdrücken. In solchen Fällen darf man die Genauigkeit des ausgedrückten Werthes nicht der leichteren Vorstellung zum Opfer bringen. Da ausserdem auch Decimalbrüche bei Rechnungen weit bequemer sind, als gemeine Brüche, so verdienen jene im Allgemeinen den Vorzug. Damit nicht durch die vielen Zahlen und namentlich durch die Nullen eines Decimalbruches der Ausdruck weniger fasslich ist und das Gedächtniss nutzlos belastet, habe ich seit Jahren und gleicher Weise auch in den früheren Abschnitten dieses Buches eine mikroskopische Einheit angenommen, nämlich 0,001 Millimeter, die ich durch ^{mmm} (Mikromillimeter, Millimillimeter) bezeichne. Nicht ohne Grund habe ich gerade diese Grösse zur Einheit erwählt. Weiterhin anzuführende Data werden nämlich darthun, dass man bei Untersuchungen im Gebiete der organischen Natur fast niemals in den Fall kommt, kleinere Grössen als Zehntausendtheile des Millimeters auszudrücken, und dass man vielfältig schon in Tausendtheilen sich mit ausreichender Genauigkeit ausdrücken kann. Da nun die meisten mikroskopischen Objecte, deren Durchmesser angegeben werden soll, weniger als 0,1 Millimeter messen, so kann man fast immer mit einer Zahl auskommen, die zwei oder höchstens drei Ziffern enthält. Eine solche Zahl ist leicht zu verstehen und zu behalten; nur dann, wenn sehr kleine Theile des Mikromillimeters ausgedrückt werden sollen, wie es an früheren Stellen dieses Buches vorgekommen ist, kann der gemeine gleichwerthige Bruch zugesetzt werden, um der Vorstellung zu Hülfe zu kommen.

111 Bei den Schriftstellern sind noch verschiedene Maasseinheiten im Gebrauch, da jeder Verfertiger von Mikrometern dieselben nach dem Maasse eintheilt, welches in seinem Lande das gebräuchlichste ist. Unverkennbar wird durch diese verschiedenen Weisen, wie ein und dieselbe Grösse ausgedrückt werden kann, das Lesen von Schriften, welche über mikroskopische Gegenstände handeln, nutzlos erschwert, und es kann dadurch sogar Verwirrung und Irrthum entstehen, weil manche anzugeben versäumen, auf welcherlei Zolle oder Linien ihre Zahlen sich beziehen, und sich einfach damit begnügen, das Zeichen des Zolles oder der Linie hinter einer Ziffer zu setzen. Bei sehr kleinen Grössen macht das freilich keinen erheblichen Unterschied; bei Objecten von etwas grösseren Di-

Digitized by Google

mensionen darf es jedoch nicht ganz übersehen werden. Ein Millimeter nämlich entspricht

0,0369413 Par. Zoll oder 0,4433 Par. Linie,
0,0393706 Engl. „ „ 0,4724 Engl. Linie *),
0,0379624 Wien. „ „ 0,4555 Wien. Linie,
0,0382231 Rheinl. „ „ 0,4587 Rheinl. Linie.

Oder es ist

1 Par. Zoll = 27,0700 Millimeter.
1 „ Linie = 2,2558 „
1 Engl. Zoll = 25,3997 „
1 „ Linie = 2,1166 „
1 Wien. Zoll. = 26,3419 „
1 „ Linie = 2,1952 „
1 Rheinl. Zoll = 26,1622 „
1 „ Linie = 2,1802 „

Zur Bequemlichkeit des Lesers ist am Ende dieses Abschnittes eine vergleichende Tabelle der gebräuchlichsten Maasse angehängt.

Es giebt vielerlei mikrometrische Methoden. Im Nachfolgenden be- 112
schränke ich mich auf die Betrachtung jener, die gegenwärtig in allgemeinem Gebrauche sind, und die übrigen verspare ich auf den dritten Band, weil sie nur von Einem oder von ein Paar Beobachtern angewandt wurden und mehr ein historisches als ein praktisches Interesse haben.

Die Glasmikrometer stehen oben an. In der Kunst, mit Diamanten feine Theilungen auf Glas zu machen, hat man es sehr weit gebracht. Jeder Optikus fügt auf Verlangen seinen Mikroskopen Glastafeln bei, worauf der Millimeter in 100, in 500, ja in noch mehr Theile getheilt ist. Ausser durch die Feinheit der Theilung unterscheiden sich die Glasmikrometer auch noch durch die Art und Weise, wie die Theilungen darauf angebracht worden sind. Bei manchen haben alle Striche gleiche Länge, und die Verschiedenheiten in der Grösse der Abtheilungen sind blos durch verschiedene Gruppen angedeutet, in denen die Entfernung der Striche von einander variirt. Eine bessere Einrichtung ist es, wenn die Theilungen wie auf einem gewöhnlichen Maassstabe eingetragen sind, und die grösseren Abschnitte durch vorspringende Striche angedeutet werden. Bei noch anderen findet sich blos Eine Art von Theilung; die Striche durchkreuzen sich aber rechtwinkelig und bilden somit Vierecke. Die beiden letzteren Theilungsweisen haben ihre besonderen Vorzüge: jene, mit den Theilungen eines gewöhnlichen Maassstabes passen mehr zu eigentlichen Messungen; die Viereckmikrometer dagegen passen mehr

*) Der englische Zoll wird sowohl in 12 als in 10 Linien eingetheilt. Die oben stehende Zahl gilt für die Zwölftheilung. Den Werth für die Zehntheilung findet man, wenn man die Decimalstelle in der Ziffer des englischen Zolles verrückt.

Digitized by Google

zum Abzählen der Objecte, die sich in einem bestimmten Raume des Gesichtsfeldes befinden, so wie zum Anfertigen von Zeichnungen.

Auf Dreierlei muss bei der Beurtheilung eines Glasmikrometers geachtet werden:

a. Jede der gleichnamigen Abtheilungen soll die genaue relative Grösse haben. Dies ist die wichtigste Forderung für jede mikrometrische Theilung, der aber nur wenige Mikrometer in solchem Maasse genügen, wie es die Genauigkeit der vorzunehmenden Messungen verlangt. Nicht gar selten begegnet man bei Glasmikrometern, auch aus den besten Werkstätten, Differenzen, die bis zu $^1/_{25}$, ja sogar bis zu $^1/_7$ der gleichnamigen Abtheilungen ansteigen. Begreiflicher Weise sind solche Ungleichheiten, wie gross sie auch sein mögen, bei sehr kleinen Abtheilungen mit blossem Auge nur sehr schwer mit Sicherheit zu erkennen. Wollte man, wenn verschiedene Abschnitte des Mikrometers ins Gesichtsfeld gebracht werden, die sichtbaren Theilungen abzählen, so würde man dadurch doch nur sehr erhebliche Ungleichheiten kennen lernen, weil die Ränder des Gesichtsfeldes nur selten auf beiden Seiten genau auf einen Theilungsstrich fallen werden. Um kleine Unterschiede mit Bestimmtheit zu erkennen, müssen die Theilungen des Mikrometers der Reihe nach einzeln gemessen werden nach einer ganz genauen mikrometrischen Methode, wovon weiterhin die Rede sein wird.

b. Man muss die absolute Grösse der auf einem Glasmikrometer angegebenen Abtheilungen kennen. Dass jene Grösse, welche der Verfertiger angiebt, nicht ohne nähere Untersuchung als die richtige angenommen werden darf, ist schon aus dem kurz vorher Mitgetheilten zu ersehen. Hat man sich auf die angegebene Weise einen Metalldraht verschafft, dessen Durchmesser man ganz genau kennt, so kann man diesen auf das Glasmikrometer legen, um zu sehen, ob seine Breite mit der gleichnamigen Breite des letzteren übereinstimmt. Allein auch hierbei wird nur selten der Fall eintreten, dass die Ränder des Drahtes genau auf die begrenzenden Striche des Mikrometers fallen; deshalb ist es in der Regel besser, man benutzt zu einer solchen Vergleichung die Ergebnisse der nach anderen Methoden ausgeführten genauen Messungen des Drahtes und der Abtheilungen des Glasmikrometers.

c. Die Breite der auf das Glas gezogenen Striche ist zu berücksichtigen. Bei einem Glasmikrometer, welches dazu bestimmt ist, als Object auf die Objecttafel gelegt zu werden, müssen diese Striche möglichst dünn sein und sie müssen glatte nicht ausgesprungene Ränder haben. Soll dagegen das Mikrometer behufs der Messungen in das Ocular gebracht werden, dann können, ja dann müssen sogar die Striche merklich dicker sein, so dass sie durchs Mikroskop bequem ins Auge fallen.

Bei den Messungen hat man auch daran zu denken, dass die Grösse der Felder nicht durch die einander zugekehrten Ränder zweier Striche

bestimmt wird, sondern durch die Mitte dieser Striche, oder aber durch deren nach rechts oder nach links gewandte Ränder.

Die Messungen durch Glasmikrometer lassen sich auf mehrfache Weise ausführen.

Man kann das zu messende Object auf das Glasmikrometer selbst legen und beide durchs Mikroskop betrachten. Dieses Verfahren ist in mehr denn einer Hinsicht ein unvollkommenes. Auf solche Weise lassen sich nur jene Grössen mit Sicherheit messen, die nicht kleiner sind als die kleinsten Abtheilungen des Mikrometers, und weil die Theilung auf Glas der Natur der Sache nach bestimmte Grenzen nicht überschreiten darf, so wird man auch niemals so feine Messungen damit ausführen können als es nach anderen Methoden möglich ist. Ferner sind die Ergebnisse solcher Messungen mit allen Fehlern des Mikrometers behaftet, und überdies gelingt es auch meistens nicht, zumal wenn starke Vergrösserungen angewendet werden, das Object und die Striche, welche die Abtheilungen begrenzen, zu gleicher Zeit scharf zu sehen, da beide niemals ganz in der nämlichen Ebene sich befinden.

Dieser letztere Uebelstand wird vermieden, wenn in einem Oculare des Mikroskopes an zwei gegenüber liegenden Punkten zwei Schrauben mit feinen in das Gesichtsfeld hineinragenden Spitzen angebracht werden, die einander mehr genähert oder weiter aus einander gerückt werden können. Soll ein Gegenstand gemessen werden, so werden die beiden Schranben zunächst so gedreht, dass die Ränder des Bildes mit den Schraubenspitzen in Berührung zu sein scheinen; dann nimmt man das Object weg, bringt das Glasmikrometer an seine Stelle, und liest nun die Entfernung zwischen den beiden Spitzen ab. Diese Methode hat Vorzüge vor der erstgenannten. Die Theilnngen des Mikrometers und die Schraubenspitzen können gleichzeitig ganz scharf gesehen werden, nnd wenn man dann successiv verschiedene Abtheilungen des Mikrometers zwischen die Spitzen bringt nnd aus diesen Messungen das Mittel nimmt, so können auch die Fehler des Mikrometers unschädlich gemacht werden. Ein grosser Uebelstand ist aber, dass durch diese Einstellungen und durch den anhaltenden Wechsel des Objectes diese Methode mehr zeitraubend ist als andere Methoden. Uebrigens erreicht man damit gleich schnell wie mit der ersten Methode die Grenze der feinsten Messung. Diese Grenze ist natürlich durch die Feinheit der Theilung des Glasmikrometers gegeben. Benützte man aber auch so feine Theilungen, wie die letzten Gruppen der Nobert'schen Probetäfelchen, die Genauigkeit der Messung würde gleichwohl jenen Punkt nicht erreichen, und zwar wegen der Diffraction an den Spitzenenden im Oculare.

Man kann aber das Glasmikrometer noch nach einer dritten Methode anwenden, die in mehr denn einer Hinsicht vor den beiden gonannten den Vorzug verdient: man bringt es in das Ocular, statt es auf die Ob-

jecttafel zu legen. Ein Vortheil dieser Methode liegt darin, dass man zu Messungen von gleicher Feinheit ein Glasmikrometer nehmen kann, dessen Striche viel weiter aus einander stehen dürfen, als wenn das Glasmikrometer als Object benutzt wird, weil nämlich die Vergrösserung der mikrometrischen Abtheilungen hierbei lediglich im Oculare stattfindet. Vergrössert das Ocular 10 Mal und ist das Millimeter auf dem Mikrometer in 20 Abschnitte getheilt, so wird jede Abtheilung, die in die angenommene Entfernung des deutlichen Sehens projicirt wird, $^1/_2$ Millimeter gross sein. Wenn daher das Mikroskop für diese Entfernung 500 Mal vergrössert, so entspricht jede Abtheilung, die im Gesichtsfelde sichtbar ist, $^1/_{1000}$ Millimeter. Es lassen sich aber noch stärkere Vergrösserungen anwenden und ebenso noch feiner getheilte Mikrometer, und so fällt es nicht schwer, nach dieser Methode noch $^1/_{2000}$ bis $^1/_{2500}$ Millimeter direct und auf zuverlässige Weise auszumessen, wozu vornehmlich noch mit beiträgt, dass die Striche auf dem hierzu bestimmten Mikrometer breiter und tiefer sind, als bei feinerer Theilung möglich ist, und zu besserer Sichtbarmachung auch mit etwas Färbendem eingerieben werden können.

Als ein Hauptvorzug dieser Methode ist dann zu erwähnen, dass die Fehler des Mikrometers dadurch ganz unmerkbar werden. Hat man z. B. den Werth jeder Abtheilung = $^1/_{1000}$ Millimeter gefunden, so werden, selbst wenn der Unterschied zwischen den einzelnen Abtheilungen ein Siebentel erreichte (die grösste Differenz, die ich überhaupt beobachtete), die gefundenen Werthe doch nicht über $^1/_{7000}$ Millimeter von einander abweichen können, also so wenig, dass dieser Unterschied für sehr viele Objecte schon ausserhalb der Grenzen der Wahrnehmbarkeit liegt.

Indessen auch diese Methode hat ihre Schattenseiten. Wir bekommen damit keine directen Maasse, und es muss eine ausdrückliche Maassbestimmung der Abtheilungen vorausgegangen sein, und zwar für jedes Objectivsystem im Besonderen, weil jenes Maass in dem Grade abnimmt als die Vergrösserung durch das Objectivsystem zunimmt. Zu dieser Bestimmung kann jedes Object benutzt werden, dessen Durchmesser genau bekannt ist, am besten daher die mehrgenannte metallische Saite, oder auch ein zweites Glasmikrometer, wenn nur verschiedene Abtheilungen desselben mit jenen des Ocularmikrometers verglichen und die Mittelwerthe daraus berechnet werden. Aber ein gewichtigerer Einwurf gegen das Glasmikrometer im Oculare liegt darin, dass die Striche nur noch sehr schwer sich unterscheiden lassen, sobald viele Objecte auf und durch einander liegend im Gesichtsfelde wahrgenommen werden. Blutkörperchen und ähnliche isolirt vorkommende Objecte lassen sich damit nicht nur leicht, sondern auch sehr genau messen; dagegen lassen sich Ganglienzellen inmitten des umgebenden Gewebes, oder Fettzellen, die unter einander im Zusammenhange sind u. s. w. auf diese Weise nur sehr schwer, ja oftmals gar nicht messen.

Zu Messungen benutzt man ferner das Schraubenmikrometer. 113
Wird eine Schraube umgedreht, so macht sie eine Bewegung vorwärts oder rückwärts, und diese Bewegung fällt desto kleiner aus, je mehr Schraubenwindungen auf eine gegebene Strecke treffen. Kommen 5 Windungen auf 1 Millimeter, so bewirkt jede vollständige Umdrehnng der Schraube eine Vorwärts- oder Rückwärtsbewegung von $^1/_5$ Millimeter, und ist das nach aussen stehende Ende der Schraube mit einem in 100 Theile getheilten Index versehen, so beträgt die Bewegung der Schranbe für jeden dieser 100 Theile oder Grade $^1/_{500}$ Millimeter. Befindet sich anch noch ein Nonius daran, wodurch Zehntelgrade angegeben werden, so lässt sich die Schraube um $^1/_{5000}$ Millimeter vorwärts oder rückwärts bewegen.

Anf dieser Eigenschaft der Schraube beruht ihre Benutzung als Mikrometer. Gewöhnlich ist die Einrichtung so, dass die männliche Schraube feststeht, weder vor- noch rückwärts bewegt, sondern nur umgedreht werden kann, während dagegen die Mutterschraube, in einem dafür bestimmten Rahmen gleitend, fortbewegt wird und zugleich das Object mit sich führt, dem eine langsame Bewegung ertheilt werden soll.

Die jetzt gebräuchlichen Schraubenmikrometer sind entweder Objecttisch-Schraubenmikrometer oder Ocular-Schraubenmikrometer.

Das Objecttisch-Schraubenmikrometer soll einen Theil des Objecttisches und damit zugleich das Object in eine Bewegung versetzen, deren Ausdehnung dadurch bestimmt wird, dass man nach einander die beiden Ränder des Bildes auf einen im Oculare ausgespannten Faden fallen lässt; der durchlanfene Weg wird dann durch die Anzahl der erfolgten Umdrehungen oder Umdrehungsfragmente der Schraube bestimmt.

Wir haben aber schon weiter oben gesehen, dass man auf die absolute Richtigkeit der also erhaltenen Maasse nicht vertrauen darf, und das wird jenen nicht Wunder nehmen, der da weiss, wie solche Schrauben geschnitten werden; dabei können leicht Fehler vorkommen, die $^1/_{100}$ oder noch mehr betragen. Will man die wahren Werthe der Abtheilungen des Schraubenmikrometers kennen, so ist es unerlässlich, dass dieselben an einem festen Maassstabe, etwa an der mehrerwähnten Metallsaite, geprüft werden. Das Zählen der Schraubenwindungen für eine bestimmte Strecke, welches von vielen empfohlen wird, giebt unzuverlässige Resnltate, weil die Schraube dafür viel zu kurz ist. Ein Glasmikrometer ist blos dann als Maassstab zu benutzen, wenn der Werth seiner Abtheilungen vorher genau ermittelt wurde; die Ungleichheiten der einzelnen Abtheilungen kann man dadurch nnschädlich machen, dass man eine Reihe Messungen an verschiedenen Abtheilungen ausführt.

Bei der Prüfung eines Schraubenmikrometers kommt aber auch noch Anderes in Betracht. Bei schlecht gefertigten Instrnmenten der Art nimmt man in stärkerem oder schwächerem Grade den sogenannten todten

Gang wahr, d. h. die Indexplatte kann sich bewegen, ohne dass gleichzeitig an der Schraube oder am Objecte selbst eine Bewegung stattfindet. Dieser Fehler stellt sich im Verlaufe der Zeit selbst bei den besten Schraubenmikrometern ein, wenn sie viel gebraucht werden, weil die den Gang der Schraube regelnde Feder allmälig nachgiebt, woraus dann die Regel folgt, dass man ein solches Instrument nur zu Messungen anwenden darf, nicht aber dazu, die Objecte im Gesichtsfelde blos in Bewegung zu setzen. Besteht der Fehler einmal und ist der Apparat sonst unbeschädigt, so lässt sich der schädliche Einfluss auf die Messungen vermeiden, wenn man den einen Rand des Objectbildes mit dem Faden im Oculare zusammentreffen lässt und dann die Schraube immer in gleicher Richtung fortdreht, bis auch der andere Rand auf diesen Faden fällt. Jedes Hin- und Herbewegen des Objectes ist hier nachtheilig.

Man muss ferner auch die unveränderlichen Fehler der Schraube untersuchen und kennen, die bei Instrumenten aus guten Werkstätten allerdings unbedeutend ausfallen, aber doch nicht übersehen werden dürfen, wenn es auf Genauigkeit ankommt. Nicht mit allen Theilen der Schraube erhält man ganz gleiche Maasse, wovon man sich überzeugen kann, wenn man nach einander das nämliche Object mit verschiedenen Schraubenabtheilungen misst. Kennt man aber einmal diese kleinen Ungleichheiten, so kann man sie später bei den Berechnungen mit in Ansatz bringen.

Der im Oculare ausgespannte Faden ist in der Regel ein Spinnewebfaden; doch kann man auch andere Fäden und Haare, sowie mit dem Diamanten auf Glas gezogene Striche dazu verwenden. Es kommt eigentlich weniger darauf an, ob ein solcher Faden ganz dünn ist, sondern mehr auf die Schärfe der Ränder, welche mit jenen des Objectbildes zusammenfallen müssen. Eine Schwierigkeit erwächst aber bei allen Messungen mit dem Schraubenmikrometer aus der Diffraction, weil man nur mit Mühe bestimmt den Augenblick angeben kann, wann die Ränder des Fadens und des Objectes zusammenfallen. Diese Schwierigkeit zu beseitigen, empfahl Mohl (*Linnaea* 1842, S. 502) statt des Fadens eine Nadel mit einer feinen Spitze in das Ocular zu bringen, die dann in der Mitte des Gesichtsfeldes liegt. Dadurch wird aber die Sache nicht gebessert. Die Beugung der Lichtstrahlen findet in gleicher Weise zwischen einer solchen Spitze und dem Rande des Objectes statt, wie zwischen dem letzteren und einem Faden. Die Diffraction lässt sich nur dadurch ganz beseitigen, dass man bei auffallendem Lichte misst, was aber natürlich nur bei einzelnen Objecten und bei einer nicht zu starken Vergrösserung möglich ist.

Die Grenzen der Genauigkeit des Objecttisch-Schraubenmikrometers hat Mohl und habe ich selbst durch Probemessungen festzustellen versucht, aus denen der wahrscheinliche Fehler für die einzelne Messung so-

wohl als für das Mittel aus einer Anzahl Messungen berechnet wurde. Objecte von verschiedener Grösse maass Mohl mit einem Plössl'schen Schraubenmikrometer, und der wahrscheinliche Fehler des Mittels bei zehn Messungen des nämlichen Objectes schwankte zwischen $^1/_{25000}$ und $^1/_{9200}$ Millimeter, oder er betrug im Mittel $^1/_{13700}$ Millimeter. Ich nahm die Messung eines Blutkörperchens mit einem Schraubenmikrometer von Plössl und einem solchen von Powell vor, und erhielt für die gleiche Anzahl von Messungen folgende Werthe:

	Grösste Differenz zwischen den einzelnen Messungen.	Wahrscheinlicher Fehler des Mittels.	Wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Messung.
Powell . . .	$^1/_{492}$ mm	$^1/_{9010}$ mm	$^1/_{2500}$ mm
Plössl . . .	$^1/_{760}$ „	$^1/_{10100}$ „	$^1/_{2000}$ „

Es ist hieraus zu entnehmen, dass der wahrscheinliche Fehler im Mittel für eine Anzahl Messungen des nämlichen Objectes zwar so gering ist, dass er in den meisten Fällen übersehen werden darf, dass dagegen bei der einzelnen Messung ein wahrscheinlicher Fehler begangen wird, der bei Objecten, welche unter 1 Mikromillim. gross sind, bis $^1/_4$, ja selbst $^1/_3$ ihres Durchmessers beträgt, und ungeachtet der grössten Sorgfalt bei Vornahme der Messung selbst noch höher ansteigen kann.

Der Grund, warum auch durch die am besten gearbeiteten Schraubenmikrometer dieser Art keine genaueren Resultate erzielt werden, liegt zum Theil darin, dass, wenn auch das ganze Stativ eine ziemliche Festigkeit besitzt, dennoch beim Bewegen der Schraube durch den Druck der Finger in der relativen Stellung des Objectes leicht eine Veränderung eintritt, ganz unabhängig vom Gange der Schraube, weshalb man, wenn der entgegengesetzte Rand des Objectes auf den Faden trifft, keineswegs ganz sicher ist, dass die durchlaufene Strecke auch genau den zu messenden Durchmesser darstellt. Dazu kommt noch, dass alle Fehler der Schraube in gleichem Maasse wie die angewendete Vergrösserung wachsen, und dieser Uebelstand wird durch die Möglichkeit einer feineren Einstellung bei stärkerer Vergrösserung keineswegs ausgeglichen.

Aus diesen Gründen steht das Objecttisch-Schraubenmikrometer an Genauigkeit dem Ocular-Schraubenmikrometer nach. Die gebräuchlichste Einrichtung des letzteren ist ganz die nämliche wie bei den astronomischen Fernröhren: es ist nämlich ein Ramsden'sches Ocular mit zwei parallelen Fäden im Gesichtsfelde, von denen der eine feststeht, der andere durch eine Schraube sich auf- und abbewegt. Beim Gebrauche kommen die Ränder des Bildes zwischen die beiden Fäden. Der Werth des einzelnen Schraubenumganges und der auf dem Index eingeschnittenen Theilungen muss vorher durch die mehrfach genannten Mittel bestimmt werden und ist natürlich ein anderer für jedes Objectivsystem.

Offenbar kann eine viel grössere Genauigkeit erzielt werden, wenn

in dieser Weise die Schraube als Mikrometer benutzt wird. Die nämliche Schraube z. B., welche fünf Windungen auf 1 Millimeter zählt, mithin in der Wirklichkeit ein Object durch eine vollständige Umdrehung nur um $^1/_5$ Millim. verrückt, wird, wenn das durch das Ocular betrachtete Object 100 Mal vergrössert ist, bei jeder Umdrehung $^1/_{500}$ Millim. des Objectes auf dem Objecttische repräsentiren. Ist dann der Index noch in 100 Grade getheilt, so wird durch jede Abtheilung $^1/_{50000}$ Millim. gemessen. Die Feinheit der Messung könnte durch einen angebrachten Nonius noch gesteigert werden; eine solche Steigerung ist aber fast überflüssig, und man benutzt daher auch in Ocular-Schraubenmikrometern für gewöhnlich etwas dickere Schrauben mit einer geringeren Anzahl von Windungen. Solche Schrauben lassen sich deshalb auch mit grösserer Genauigkeit herstellen, als die ganz feinen Schrauben zu Mikrometern, durch welche das Object selbst bewegt wird.

Mit einem Dollond'schen Mikrometer dieser Art, an dem jede Abtheilung des Index bei einer 435fachen Vergrösserung 0,094 Mikromillim. ($^1/_{10630}$ Millim.), bei 820facher Vergrösserung aber 0,051 Mikromillim. ($^1/_{19600}$ Millim.) repräsentirt *), wurden einzelne Objecte immer einer zehnmaligen Messung unterworfen, wodurch folgende Resultate erzielt wurden:

Object.	Vergrösserung.	Grösste Differenz.	Wahrscheinlicher Fehler des Mittels.	Wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Messung.
1. Ein Blutkörperchen	435	$^1/_{2040}$ mm	$^1/_{31200}$ mm	$^1/_{9940}$ mm
2. 0,05 Millim. eines Glasmikrometers . .	435	$^1/_{2040}$ „	$^1/_{30000}$ „	$^1/_{9560}$ „
3. 0,01 Millim. eines Glasmikrometers . .	850	$^1/_{2700}$ „	$^1/_{57000}$ „	$^1/_{18200}$ „
4. Abstand zwischen zwei Streifchen auf einem ganz kleinen Flügelschüppchen von *Lepisma saccharinum*	850	$^1/_{6250}$ „	$^1/_{86000}$ „	$^1/_{27000}$ „

Hier liegt offenbar der wahrscheinliche Fehler des Mittelwerthes weit ausserhalb der Grenzen, die früher (I, §. 243) für die Wahrnehmbarkeit undurchsichtiger Objecte durchs Mikroskop gefunden wurden, da schon der Fehler bei der einzelnen Messung dieser Grenze sehr nahe kommt. Das ist aber der möglichst hohe Grad von Genauigkeit, der bei einer mikrometrischen Methode erreicht werden kann, und wirklich übertrifft das Ocularmikrometer in dieser Hinsicht alle übrigen.

*) Diese Zahlen sind nicht ganz die nämlichen, die ich in den *Recherches micrométriques p.* 18 angegeben habe. Dort nämlich habe ich den Werth der Oberhäuser'schen Mikrometerabtheilungen zu Grunde gelegt; später aber habe ich mittelst der mehrgenannten Metallsaite eine genauere Bestimmung erzielt.

Digitized by Google

Seiner allgemeinen Verbreitung steht nur die grössere Kostbarkeit im Wege. Ausser dem Mikrometer selbst, das natürlich schon zu den kostspieligen Instrumenten gehört, bedarf es noch einer besonderen Einrichtnng des Objecttisches. Derselbe muss mit einem beweglichen Schlitten versehen sein, um den einen Rand des Bildes mit dem feststehenden Mikrometerfaden zusammenfallen zu lassen, was mittelst der Hand durchaus nicht mit genngsamer Sicherheit zu erreichen sein würde.

Gleichwohl steht das Ocular-Schraubenmikrometer dem Objecttisch-Schraubenmikrometer in einem Pnnkte nach, der nicht unberücksichtigt bleiben darf, wo es sich um ganz genaue Messungen handelt: die Fäden des Mikrometers liegen im Brennpunkte des Oculares, ihr Scheinbild befindet sich deshalb niemals in einer ganz geraden Ebene. Die Vergrösserung ist in der Mitte des Gesichtsfeldes am schwächsten, und nimmt nach den Rändern hin allmälig zu. Die Folge hiervon ist, dass der Werth der Abtheilungen des Index den verschiedenen Abständen, in welche die beiden Fäden durch die Schraubenbewegung kommen, nicht ganz vollständig entspricht, oder mit anderen Worten, wenn man den Abtheilungen des Index den unveränderlichen Werth beilegt, der mit einem kleinen Objecte von bekanutem Durchmesser gefunden wurde, so wird man bei grösseren Objecten einen unter der Wirklichkeit verbleibenden Durchmesser erhalten. Kommt es also auf grosse Genauigkeit an, wie etwa in dem Falle, wo der Brechungsindex einer Flüssigkeit mittelst der Grösse des Bildchens auf Luftbläschen bestimmt werden soll (I, §. 89), so muss der Werth der Indexabtheilungen für die verschiedenen Abschnitte des Gesichtsfeldes bestimmt werden.

Am besten bedient man sich hierbei eines Glasmikrometers mit solcher Theilung, dass z. B. 10 bis 12 Abtheilnngen zwischen die Fäden des Ocular-Schraubenmikrometers zu liegen kommen können, wenn dieselben durchs Fortbewegen der Schraube ziemlich in den grössten Abstand von einander gebracht worden sind. Nun misst man nach einander jede der 10 oder 12 Abtheilungen, wobei man Sorge zu tragen hat, dass die nach rechts oder nach links gekehrten Ränder jeder Abtheilung immer genau zwischen den Fäden liegen, damit jede folgende Messung sich immer genau an die vorhergehende anschliesst. Hat man so die Grösse jeder Abtheilung des Glasmikrometers, und zwar in Graden des Index ausgedrückt, für jenen Theil des Gesichtsfeldes, der sich etwas ausserhalb der Axe des Mikroskopes befindet, kennen gelernt, so misst man darnach alle 10 bis 12 Abtheilungen zusammen. Bestände keine verschiedene Vergrösserung in den verschiedenen Feldern des Gesichtsfeldes, dann müsste selbstverständlich der jetzt gefundene Werth die Summe der einzelnen Werthe sein, welche durch die erste Reihe von Messungen gefunden wurden. Da aber die ungleiche Vergrösserung, wie gering sie auch sei, bei einem positiven Oculare niemals fehlt, so müssen auch zwei verschiedene Resultate

herauskommen. Ein Beispiel möge zur Erläuterung dienen. Mit dem vorhin erwähnten Ocular-Schraubenmikrometer finde ich, wenn zehn Abtheilungen eines Glasmikrometers nach einander gemessen werden, für die einzelne Abtheilung 75,8 Grade des Index als Mittelwerth. Wird aber die Gesammtausdehnung der zehn Abtheilungen zwischen die Fäden gebracht, so ergiebt sich für die Fortbewegung der Schraube nicht die Zahl 758, sondern nur 735. Die einzelnen Abtheilungen verhalten sich also in beiden Fällen zu einander wie 735 : 758, oder etwa wie 1 : 1,03. Wenn also beim Messen kleinerer Objecte die oben genannten Werthe von 0,094 Mikromillim. und 0,051 Mikromillim. für die einzelnen Grade des Index ganz richtige sind, so müssen dieselben dagegen mit 1,03 multiplicirt werden für solche Objecte, deren Bild ungefähr die nämliche Ausdehnung im Gesichtsfelde hat als jene zehn Abtheilungen des Glasmikrometers, d. h. jene Zahlen sind für diesen Fall in 0,096 und in 0,0525 umzuändern. Bei kleineren Objecten ist die Differenz natürlicher Weise unbedeutender, bei grösseren dagegen ist sie auch noch stärker hervortretend. Hat man indessen nur Einmal auf die genannte Weise zwei solche Abschnitte des Gesichtsfeldes untersucht, so kann man weiterhin mit ziemlicher Genauigkeit den Werth einzelner Abschnitte, etwa eines ganzen Schraubenumganges, durch Interpolation herausfinden.

Ein Ocular-Schraubenmikrometer lässt sich auch auf noch andere Weise herstellen nach dem Entwurfe Mohl's, der von Steinheil (*Arch. f. mikrosk. Anat.* I, S. 79) in Ausführung gebracht worden ist. Das Wesentliche dabei ist, dass ein Schraubenmikrometer, dessen allgemeine Einrichtung mit dem Objecttisch-Schraubenmikrometer übereinstimmt, dergestalt im Oculare angebracht wird, dass nicht das Object selbst, sondern sein vergrössertes Bild durch den Schraubenumgang gemessen wird. Im dritten Bande soll Mohl's Beschreibung ausführlicher folgen; hier habe ich mich blos mit den Vorzügen und Nachtheilen dieser Einrichtung zu beschäftigen. In einer Beziehung verdient Mohl's Einrichtung den Vorzug vor jener von Ramsden. In Folge der Krümmung des Gesichtsfeldes zeigen hier ungleich grosse Objecte, die nach dem Werthe der einzelnen Abtheilungen bestimmt werden, eine verschiedene Grösse, weil die Vergrösserung vom Centrum des Gesichtsfeldes nach der Peripherie hin zunimmt; die Krümmung wird nämlich hier durch die vereinigte Wirkung des Objectives und des Oculares zu Staude gebracht. Bei Mohl's Einrichtung ist der Einfluss des letztern eliminirt, weil es beweglich ist und mit dem darin ausgespannten Spinnewebfaden quer über das Bild hinstreicht. so dass mithin das Bild stets durch die Axe des Oculares angeschaut wird. Freilich macht sich der Einfluss des Objectives auf die Gestaltung des Bildes annoch geltend; dieser fällt aber weit geringer aus und darf ganz vernachlässigt werden, wenn nicht eine zu grosse Partie des Bildes auf einmal gemessen wird. Will man dann grössere Objecte ausmessen,

so lässt sich jene Einrichtung augenblicklich in ein Objecttisch-Schraubenmikrometer umwandeln und als solches benutzen.

Dem gegenüber stehen aber wieder Nachtheile, die es wahrscheinlich machen, dass dieser Einrichtung des Ocular-Schraubenmikrometers doch immer nur eine beschränkte praktische Anwendung zu Theil werden wird. Schon das Ramsden'sche Ocular-Schraubenmikrometer ist kostspielig, aber noch weit mehr dieses Mohl'sche. Der geringste Druck des Fingers auf den Knopf der Schraube wirkt hebelartig und die hevorgerufene Bewegung erfährt die nämliche Vergrösserung, wie das Bild selbst; deshalb muss die Verbindung des Mikroskoprohres mit der Säule des Instrumentes noch besonders durch einen aus rechtwinkelig gekreuzten Metallplatten bestehenden Rahmen verstärkt werden. Während beim Objecttisch-Schraubenmikrometer das Objectbild unterhalb des Spinnewebfadens sich fortbewegt, schiebt sich dagegen hier der Spinnewebfaden über dem Objectbilde fort, und wenn beim Drehen der Schraube durch den Druck nur die geringste nicht zur Umdrehung gehörige Verschiebung stattfindet, so addirt sich deren Grösse zu der gefundenen Grösse des Bildes, oder aber das Bild erscheint um eben soviel kleiner, wenn die Verschiebung in entgegengesetzter Richtung erfolgte. An einem sorgfältig gearbeiteten Instrumente wird allerdings eine derartige Verschiebung zuerst so unbedeutend ausfallen, dass sie nicht wahrzunehmen ist; indessen durch den fortwährenden Gebrauch und die davon bedingte Abnutzung dürften doch wohl die verschiedenen Theile eine gewisse Lockerung erfahren, so dass neben der eigentlich schraubenden Bewegung auch noch andere Bewegungen auftreten können. Man ist deshalb nicht sicher, dass der Ausgangspunkt des Abmessens, der Rand des Objectbildes nämlich, womit der Spinnewebfaden zuerst in Berührung kam, während der Drehung des Schraubenknopfes unverändert an seinem Platze verblieb. Die einzige Controle besteht darin, dass die Messung noch einmal oder mehrmals wiederholt wird; das kann aber immer nur auf die nämliche Weise geschehen, und deshalb hat man keine Sicherheit, ob nicht der nämliche Fehler bei jeder Messung sich wiederholt. Hierin hat das Ramsden'sche Ocular-Schraubenmikrometer einen entschiedenen Vorzug, denn das Bild wird zwischen zwei Spinnewebfäden gemessen, deren einer feststeht und mit einem Rande des Bildes in bleibender Berührung ist, und wenn dann das Bild zwischen den beiden Fäden liegt, so kann man noch untersuchen, ob die Berührung sich unverändert erhalten hat. Dabei hat dieses Schraubenmikrometer eine weit einfachere Einrichtung, und man ist gegen die hebelartige Wirkung weit sicherer gestellt, ja bei sorgsamem Verfahren hat man diese eigentlich gar nicht zu besorgen. Die aus der Krümmung des Bildes resultirenden Irrthümer lassen sich auch fast gänzlich vermeiden, wenn die Vergrösserung in verschiedenen Abschnitten des Gesichtsfeldes vorher sorgfältig untersucht wird; auch kommen sie nur in

Digitized by Google

dem Falle einigermaassen in Betracht, wenn man sich zu weit aus der Mitte des Gesichtsfeldes entfernt. Zudem lässt sich dieser Uebelstand durch eine passende Linsencombination ganz beseitigen oder doch so weit herabdrücken, dass der Einfluss auf die Messung meistens unberücksichtigt bleiben darf.

Uebrigens hat Mohl durch Probemessungen dargethan, dass seinem Ocular-Schraubenmikrometer grosse Genauigkeit zukommt. Ich will nur folgende Beispiele aus seiner ausführlicheren Tabelle anführen, worin die Maasse von lauter ganz kleinen Objecten von 42 bis 1,2 Mikromillimeter Durchmesser aufgeführt sind.

Vergrösserung.	Grösste Differenz zweier Messungen.
104 — 149	$^1/_{1106}$ mm
218 — 285	$^1/_{2213}$ „
430 — 487	$^1/_{3148}$ „
800	$^1/_{5310}$ „
1100	$^1/_{6900}$ „

Die Differenzen sind etwas geringer, als die oben mitgetheilten, welche beim Ramsden'schen Ocular-Schraubenmikrometer beobachtet wurden. Indessen die letzteren Messungen sind bereits vor 20 Jahren vorgenommen worden, wo die Objectivsysteme noch lange nicht so scharfe Bilder gaben, wie die jetzt gebräuchlichen.

Sind beide Arten Ocular-Schraubenmikrometer mit gleicher Sorgfalt gearbeitet, machen die Schrauben gleich viele Umgänge, sind die benutzten Objective und Oculare einander gleich, dann lässt sich kein Grund ausfindig machen, warum mit Ramsden's Instrumente nicht eben so genaue Resultate erzielt werden sollten, als mit der Mohl'schen Einrichtung.

114 Unter den Methoden, wie man die Grösse mikroskopischer Gegenstände misst, haben einige das mit einander gemein, dass das vergrösserte Bild auf eine Oberfläche projicirt und auf dieser gemessen wird, worauf man den gefundenen Durchmesser durch die Vergrösserungsziffer dividirt: der so erhaltene Quotient ist der Durchmesser des Objectes. Dieser Weg wird im Allgemeinen eingeschlagen:

a. beim Gebrauche der verschiedenen Arten dioptrischer und katoptrischer Projectionsmittel;

b. bei Benutzung des Bildmikroskopes;

c. beim Doppelsehen.

Bei allen diesen Methoden ist demnach vor Allem nöthig, dass die Vergrösserung ganz genau bekannt ist, worüber die nöthige Anweisung früher (I, §. 221) gegeben wurde. Nur bemerke ich hier, dass für die zu diesem Zwecke erforderliche Vergrösserungsziffer nicht die Entfernung des deutlichen Sehens in Betracht kommt, sondern nur die Frage zu

beantworten ist: welches ist die Vergrösserung des Objectes bei einer bestimmten, immer unveränderlichen Entfernung von der Ebene, auf welche sein Bild projicirt wird? Diese erste Bestimmung muss natürlich höchst sorgfältig vorgenommen werden, und bei jeder nachfolgenden Bestimmung, wo die gefundene Vergrösserungsziffer in Anwendung gezogen wird, ist sorgsam darauf zu achten, dass die angenommene Entfernung des Bildes auch ganz unverändert eingehalten wird.

Fig. 101.

Harting's Schiebercirkel.

Auch muss dabei auf den Einfluss geachtet werden, welchen die Krümmung des Bildes (I, §§. 221 und 238) auf die Vergrösserung übt, und man muss untersuchen, welcher Unterschied in dieser Beziehung an den verschiedenartigen Abschnitten des Gesichtsfeldes hervortritt. Uebrigens lässt sich dieser Unterschied ganz unschädlich machen, wenn man einen Ring in das Ocular bringt und vor jeder Messung das Object so legt, dass sein Bild an den Rändern dieses Ringes auftritt.

Zweitens muss aber auch der Durchmesser des Bildes so genau als möglich gemessen werden, also mindestens bis zu Zehnteln des Millimeters. Man kann sich dazu des schon früher (I, S. 272) beschriebenen Doppelcirkels bedienen, durch den das Maass verfünffacht wird. In dessen Ermangelnng kann man aber auch zu den anderen dort genannten Mitteln greifen.

Am besten eignet sich übrigens hierzu ein Schiebercirkel, wie er Fig. 101 in halber Grösse abgebildet ist nach einem Instrumente, das ich mir hier habe anfertigen lassen, und dessen ich mich seit vielen Jahren mit Nutzen bediene. Es besteht aus zwei Theilen, aus einem platten Messingstabe (*A. abcd*) und einem darüber hingleitenden Rahmen (*A. efgh*). Durch eine an der Unterfläche des letzteren befindliche Feder (*B. ik*), welche mit *lm* kreuzförmig vereinigt und durch Schrauben an dem Rahmen

Digitized by Google

befestigt ist, sowie durch eine zweite seitliche Feder ($A.n$), die in eine Rinne von fh passt, wird der Rahmen an den Messingstab angedrückt. An dem einen Ende des Messingstabes und ebenso an dem ihm entsprechenden Theile des Rahmens sind senkrecht stählerne Ansatzstücke ($A.op$ und eq) angebracht; beide gehen in eine Spitze aus, und da sie an den einander zugekehrten Seiten ganz gerade sind, so können sie in unmittelbare Berührung mit einander gebracht werden. Bei r und s sind sie abwärts gebogen unter einem Winkel von 145°, so dass sie von der Seite her sich so ausnehmen wie bei *C*. Dadurch wird die Bewegung der Spitzen über eine ebene Fläche erleichtert, während die Hand, welche das Instrument hält, auf dem Tische ruht. Am Verbindungsstücke gh befindet sich noch ein anderes Stück Messing; dasselbe ist etwas ausgehöhlt und hat eine Menge Vertiefungen zur Stütze für das letzte Glied des Daumens, womit der Rahmen bequem über den Messingstab hin und her geschoben wird, während die anderen Finger denselben umfassen. Der Messingstab hat auf der einen Seite eine Theilung in Centimeter und Millimeter, und mittelst eines bei tu angebrachten Nonius lassen sich auch noch Funfzigstel des Millimeters ablesen. Auf der anderen Seite des Messingstabes kann auch noch eine zweite Scale mit Zollen und Linien und einem Nonius etwa bei x angebracht werden. Die Theilung ist so gemacht, dass, wenn die beiden stählernen Ansatzstücke an einander liegen und die Spitzen einander berühren, der Nonius auf Null zeigt.

Ein solcher Schiebercirkel ist nicht blos bei mikrometrischen Messungen, sondern auch bei vielen anderen Messungen ein sehr brauchbares Instrument, namentlich wenn man den Dickendurchmesser haben will, z. B. bei den so häufig benutzten Deckplättchen.

115 Will man Messungen vornehmen, so ist es ziemlich einerlei, welches von den verschiedenen dioptrischen und katoptrischen Mitteln zum Projiciren der Bilder gewählt wird, ob eine *Camera lucida*, oder ein Sömmerring'sches Spiegelchen u. s. w., von denen früher (I, §. 181) gehandelt wurde. Bedingung ist es aber bei allen, dass entweder das Mikroskop horizontal gestellt wird, oder dass die Strahlenbündel durch ein rechtwinkeliges Glasprisma eine horizontale Richtung bekommen, da sich Bilder, welche auf eine verticale Fläche projicirt werden, nur schwer mit der nöthigen Genauigkeit messen lassen, weil die Hand der Unterstützung entbehrt. Es ist gut, wenn man auf eine Schiefertafel projiciren lässt, nur muss man dann eine Tafel von immer gleicher Dicke benutzen.

Wendet man alle nöthige Vorsicht an, so lassen sich mit diesen Mitteln sehr genaue Messungen ausführen. Mit dem Sömmerring'schen Spiegelchen wurde z. B. Folgendes gefunden:

Object.	Vergrösserung.	Grösste Differenz.	Wahrscheinlicher Fehler des Mittels aus zehn Messungen.	Wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Messung.
1. Blutkörperchen . .	740	$^1/_{1480}$ mm	$^1/_{24100}$ mm	$^1/_{7630}$ mm
2. 0,05 Millim. eines Glasmikrometers .	369	$^1/_{526}$ „	$^1/_{7812}$ „	$^1/_{2730}$ „

Die Grösse des wahrscheinlichen Fehlers ist in diesen beiden Fällen sehr ungleich, und das hat einen doppelten Grund. Einmal nämlich nimmt die Genauigkeit der Messung in dem Maasse zu als die Vergrösserung wächst. Bei einer 740maligen Vergrösserung sind zwar die Umrisse nicht mehr so scharf wie bei einer 369maligen; bei der letzteren fallen aber dafür auch allo Messungsfehler fast doppelt so gross aus wie bei der ersteren. Der zweite Punkt ist der, dass die beiden benutzten Objecte eine ungleiche Grösse haben. Das Blutkörperchen maass 6,3mmm, hatte also nur ungefähr $^1/_8$ von der Grösse der benutzten Mikrometerabtheilung; sein Bild war also etwa vier Mal kleiner. Je kleiner aber ein Bild ist, um so leichter werden seine beiden Grenzlinien in dem nämlichen Momente vom Auge wahrgenommen, um so zuverlässiger ist daher auch die Messung mittelst des Cirkels. Wenn dagegen das Bild einen grösseren Theil des Gesichtsfeldes einnimmt, so fällt es schwerer, seine beiden Ränder auf Einmal wahrzunehmen, und damit nimmt die Möglichkeit zu, Fehler beim Messen zu begehen.

In dieser Hinsicht steht demnach diese Methode dem Gebrauche des Schraubenmikrometers nach; denn durch dieses lassen sich grössere wie kleinere Objecte mit dem nämlichen Grade von Genauigkeit messen. Dem Objecttisch-Schraubenmikrometer ist sie beim Messen sehr kleiner Objecte vorzuziehen, da sie hierbei fast den gleichen Werth hat wie das Ocular-Schraubenmikrometer.

Mit jeder Art von Bildmikroskop lassen sich Messungen ausführen. Die gewöhnliche Einrichtung indessen, wobei ein dunkeles Zimmer verlangt wird, ist zu umständlich für Messungen. Anders verhält es sich mit den tragbaren Bildmikroskopen, namentlich mit jenem, welches weiter unten in Fig. 102 dargestellt ist. Hier wird das Bild auf einer matt geschliffenen Glasplatte aufgefangen und unter Beachtung der angegebenen Vorsichtsmaassregeln gemessen. Mit diesem Apparate wurden folgende Resultate erhalten: 116

Object.	Vergrösserung.	Grösste Differenz.	Wahrscheinlicher Fehler des Mittelwerthes.	Wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Messung.
1. Blutkörperchen . .	593	$^1/_{1500}$ mm	$^1/_{24400}$ mm	$^1/_{7640}$ mm
2. 0,05 Millimeter eines Glasmikrometers .	593	$^1/_{840}$ „	$^1/_{13900}$ „	$^1/_{4400}$ „

Man ersieht daraus, dass sich auch nach dieser Methode der Durchmesser der Objecte mit grosser Genauigkeit messen lässt, wenn man nur eine stärkere Vergrösserung wählt, da natürlich, gleichwie bei den vorigen Methoden, die Grösse des wahrscheinlichen Fehlers in gleichem Verhältnisse steigt, als die angewandte Vergrösserung abnimmt. Zugleich sieht man auch, dass der Durchmesser der Objecte nicht ohne Einfluss ist, wenn derselbe auch nicht in gleichem Maasse wie beim Sömmerring'schen Spiegelchen sich geltend macht. Das kommt nicht davon, dass grössere Bilder, blos weil sie grösser sind, mit geringerer Zuverlässigkeit messbar sind, sondern davon, dass die durchs Bildmikroskop erzeugten Bilder in der Mitte des Feldes immer die schärfsten Ränder haben.

117 Die letzte noch zu erwähnende mikrometrische Methode ist das Doppelsehen der Objectbilder, wobei das Bild mit einem Auge im Gesichtsfelde beobachtet, mit dem anderen auf die Objecttafel projicirt und dort gemessen wird. Schon früher (I, §. 185) ist vom Doppelsehen die Rede gewesen; hier ist nur noch der besonderen Rücksichten zu gedenken, welche beim Messen zu nehmen sind.

1. Während des Messens muss die Augenaxe ihre Richtung unverändert beibehalten, das Auge also muss ganz unbeweglich bleiben.

2. Um die Spitzen des zum Messen benutzten Cirkels immer in gleicher Entfernung vom Auge zu behalten, muss das zusammengesetzte Mikroskop einen grossen Objecttisch haben, worauf die Spitzen des Cirkels ruhen können. Den zu kleinen Objecttisch, wie er bei vielen Mikroskopen vorkommt, kann man vergrössern, wenn man ein Stück ganz ebene Pappe zwischen den federnden Apparat bringt. Beim einfachen Mikroskope sowohl, als auch beim zusammengesetzten aber nicht hohen Mikroskope kann der Cirkel auf die Tafel gehalten werden, worauf das Instrument ruht, oder auch auf das Kästchen, worauf letzteres geschraubt ist.

3. Auf die Fläche, wohin das Bild projicirt wird, legt man ein Stück Papier, welches so viel wie möglich die Farbe des Gesichtsfeldes hat. Dadurch wird die Illusion, als ob beide Augen das Bild und den zu messenden Gegenstand zu gleicher Zeit sähen, gar sehr gesteigert.

4. Man muss darauf bedacht sein, dass die Fläche, worauf die Messung vorgenommen wird, und das Auge immer gleich weit von einander entfernt sind. Die Glasplättchen, worauf die Objecte kommen, dürfen deshalb nicht ungleich dick sein, und das Nämliche gilt auch von dem auf dem Objecttische liegenden Papiere.

Dass endlich bei Bestimmung der Vergrösserungen und bei den Messungen selbst die vorhin genannten allgemeinen Rücksichten insgesammt zu nehmen sind, braucht nicht wiederholt zu werden.

Ueber die wahrscheinlichen Fehler bei dieser Methode geben folgende Versuche Aufschluss:

Digitized by Google

Object.	Vergrösserung.	Grösste Differenz.	Wahrscheinlicher Fehler des Mittels aus 10 Messungen.	der einzelnen Messung.
1. Blutkörperchen . . .	579	$^1/_{1940}$ mm	$^1/_{27000}$ mm	$^1/_{8330}$ mm
2. Desgl.	332	$^1/_{1660}$ „	$^1/_{22100}$ „	$^1/_{7040}$ „
3. 0,05 Millimeter eines Glasmikrometers . . .	579	$^1/_{828}$ „	$^1/_{13200}$ „	$^1/_{4000}$ „
4. Desgl.	332	$^1/_{556}$ „	$^1/_{8850}$ „	$^1/_{2800}$ „
5. 0,01 Millimeter eines Glasmikrometers . . .	910	$^1/_{2280}$ „	$^1/_{34500}$ „	$^1/_{10700}$ „
6. Abstand zwischen zwei Streifchen auf einem ganz kleinen Flügelschüppchen von *Lepisma saccharinum*	910	$^1/_{4550}$ „	$^1/_{75800}$ „	$^1/_{24000}$ „

Es ist klar, dass die Genauigkeit hier ebenfalls zunehmen muss, wenn eine stärkere Vergrösserung und ein kleineres Object zur Anwendung kommen, und dies erhellt auch deutlich genug aus den überstehenden Zahlen. Zugleich ergiebt sich aber auch aus diesen Zahlen, dass diese mikrometrische Methode, die einfachste von allen und die am allgemeinsten anwendbare, die zudem beim einfachen wie beim zusammengesetzten Mikroskope zulässig ist, sich auch durch grosse Genauigkeit empfiehlt, worin sie sogar die übrigen, mit alleiniger Ausnahme des Ocular-Schraubenmikrometers, übertrifft. Begreiflicher Weise ist diese Genauigkeit nur nach vieler Uebung zu erlangen. Wer sich indessen im Doppelsehen eine ausreichende Fertigkeit zu eigen gemacht hat, der wird nur sehr selten in den Fall kommen, ein anderes Verfahren anwenden zu müssen. Es lohnt sich aber um so mehr der Mühe, diese Fertigkeit sich anzueignen, weil keine der anderen Methoden in der Raschheit der Ausführung mit dem Doppelsehen wetteifern kann, was doch gar sehr ins Gewicht fällt, wenn man eine grössere Anzahl Messungen vorzunehmen hat, aus denen ein Mittelwerth genommen werden soll.

Um 20 Messungen des nämlichen Blutkörperchens auszuführen, waren nöthig:

20 bis 30 Minuten mit verschiedenen Schraubenmikrometern,
18 Minuten mit dem tragbaren Sonnenmikroskope,
16 Minuten mit dem Sömmerring'schen Spiegelchen,
11 Minuten beim Doppelsehen.

Natürlich verlangt die Anwendung des Schraubenmikrometers sogar noch mehr Zeit, wenn grössere Objecte gemessen werden.

Bei der Wahl einer mikrometrischen Methode handelt es sich aber 118
noch um eine andere Frage, nämlich: welcher Grad von Genauigkeit wird dabei für einen bestimmten Zweck verlangt? Soll durch eine einzige Messung eines Objectes dessen Durchmesser möglichst genau ermittelt

Digitized by Google

werden, so wird natürlich die genaueste Methode auch unbedingt die beste sein. Soll z. B. die relative Grösse eines Luftbläschens und des Bildes eines darunter liegenden Gegenstandes bestimmt werden, um daraus das Brechungsvermögen der das Luftbläschen umgebenden Flüssigkeit zu berechnen (§. 91), so wird man dem Ocular-Schraubenmikrometer vor allen anderen Hülfsmitteln den Vorzug einräumen müssen. Bei organischen Objecten, wo es sich um einen Mittelwerth handelt, den man aus einer stets nur kleinen Zahl von Messungen verschiedener Körper gewinnt, kommt aber auch noch etwas anderes in Betracht: man muss die Grösse des wahrscheinlichen Fehlers kennen, der einem solchen Mittelwerthe stets anklebt und der in einzelnen Fällen grösser sein kann, als der wahrscheinliche Fehler bei Anwendung einer bestimmten mikrometrischen Methode. Um zu entdecken, ob diese Voraussetzung wirklich eine begründete ist, habe ich folgende Messungen mit dem Ocular-Schraubenmikrometer ausgeführt, und daraus den wahrscheinlichen Fehler des Mittelwerthes berechnet.

Object.	Anzahl der Messungen	Mittlerer Durchmesser in Mikromillim.	Mittlerer Durchmesser in Millim.	Wahrscheinlicher Fehler in Millim.
1. Bindegewebsfasern	10	1,1	$^1/_{900}$	$^1/_{17000}$
2. Blutkörperchen eines Mannes	15	7.7	$^1/_{130}$	$^1/_{6000}$
3. Primitivbündel des Gastrocnemius eines Neugebornen	20	5,8	$^1/_{173}$	$^1/_{4176}$
4. Primitivröhren des Medianns eines Mannes	15	16,6	$^1/_{60}$	$^1/_{986}$
5. Primitivbündel des Psoas eines Erwachsenen	21	51,6	$^1/_{19}$	$^1/_{506}$

Man ersieht hieraus sogleich, dass, wenn der Durchmesser der organischen Elementartheile grösser ist, auch der wahrscheinliche Fehler in der Regel grösser ausfällt, und dass derselbe, wenn die Zahl der Messungen noch viel weiter geht als in der vorstehenden Tabelle, bei organischen Objecten mit einem Durchmesser von $^1/_{60}$ bis $^1/_{20}$ Millimeter in der That eine Grösse erreicht, welche den wahrscheinlichen Fehler aller bisher beschriebenen mikrometrischen Methoden noch übertrifft. Beim Messen solcher Objecte ist es daher in Betreff der Genauigkeit des Resultates ganz gleichgültig, welcher von diesen Methoden man den Vorzug giebt.

Anders verhält es sich mit den Objecten, die einen geringeren Durchmesser haben, z. B. mit Blutkörperchen, mit den Primitivfasern des Bindegewebes, der Sehnen, der Muskeln u. s. w. Sollen Objecte von so geringem Durchmesser gemessen werden, dann ist die Wahl eine weit beschränktere, da nothwendiger Weise alle jene Methoden ausgeschlossen werden müssen, bei denen der wahrscheinliche Fehler einen merklichen Einfluss auf das Endresultat der Messung haben kann. Dies ist nicht blos

der Fall mit den verschiedenen Messungen durch Glasmikrometer, sondern das Nämliche gilt auch von den Objecttisch-Schranbenmikrometern, da deren wahrscheinlicher Fehler, wenn ein und dasselbe Blutkörperchen gemessen wird, schon mehr als das Doppelte beträgt von dem wahrscheinlichen Fehler des Mittelwerthes, der aus den Messungen einer Anzahl verschiedener Blutkörperchen hergeleitet wurde.

Ist der Durchmesser der Objecte noch kleiner, so tritt dieser Einfluss noch mehr hervor; daher man in allen solchen Fällen seine Zuflucht zu noch genaueren Hülfsmitteln nehmen muss, unter denen zwar das Ocular-Schraubenmikrometer obenansteht, dem aber die *Camera lucida*, das Sömmerring'sche Spiegelchen, das Sonnenmikroskop und vorzüglich das Doppelsehen fast parallel gehen.

Aus der Grösse des wahrscheinlichen Fehlers bei Bestimmung des mittlern Durchmessers organischer Objecte, eines Fehlers, der gar nicht zu umgehen ist und sich nur dann einigermaassen beseitigen lässt, wenn eine weit grössere Anzahl von Messnngen zum Auffinden des Mittelwerthes ausgeführt wird, ergiebt sich aber auch noch soviel, dass es ganz nutzlos ist, wenn man bei solchen mikrometrischen Grössen bestimmte Grenzen in der Bezifferung überschreitet. Für die Muskelprimitivbündel des Erwachsenen wurde z. B. der mittlere Durchmesser = 51,6 ^{mmm} gefunden, mit einem wahrscheinlichen Fehler von $^1/_{500}$ Millimeter oder 2 ^{mmm}, womit soviel gesagt ist, dass es gleich wahrscheinlich ist, der Durchmesser beträgt 49,6 oder er beträgt 53,6 ^{mmm}. Zehntausendstel des Millimeters anzugeben ist in einem solchen Falle eine ganz überflüssige und blos scheinbare Genauigkeit; man kann sich hier gut und gern auf Mikromillimeter beschränken. 119

Bei dem kleinsten in der vorhergehenden Tabelle genannten Objecte beträgt der mittlere Durchmesser 1,1 ^{mmm}, mit einem wahrscheinlichen Fehler von $^1/_{17000}$ ^{mm} oder 0,06 ^{mmm}; die Grenzen also, zwischen denen der wahre Durchmesser liegen muss, sind 1,04 und 1,16. Hier müssen also auch die Zehntausendstel des Millimeters mit in den Ausdruck aufgenommen werden. Man darf aber anch mit Sicherheit annehmen, dass dies bei organischen Objecten die äusserste Grenze ist, bis wohin man die Genauigkeit des Ausdrucks treiben darf.

Diese Grenzen habe ich daher auch bei Berechnung der folgenden Tabelle eingehalten. Ich gehe darin vom Mikromillimeter aus, und füge die gleichnamigen Werthe in Millimetern, in Pariser, Wiener und Englischen Zollen sowie in Pariser Linien bei, und zwar immer gleichzeitig in Decimalen und in gemeinen Brüchen. Bei der Linie sind Hunderttausendstel, bei den Zollen Millionstel mit aufgeführt worden, wenngleich in den meisten Fällen die letzte Decimalzahl unbedenklich weggelassen werden kann.

Digitized by Google

Reductionstafel der mikrometrischen Maasse.

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
0,1	0,0001	0,000004	0,00004	0,000004	0,000004
	1/10000	1/271000	1/22570	1/255000	1/263500
0,2	0,0002	0,000007	0,00009	0,000008	0,000008
	1/5000	1/136000	1/11280	1/127000	1/131750
0,3	0,0003	0,000011	0,00013	0,000012	0,000011
	1/3333	1/91000	1/7530	1/85000	1/88200
0,4	0,0004	0,000015	0,00018	0,000016	0,000015
	1/2500	1/67900	1/5640	1/63500	1/65700
0,5	0,0005	0,000018	0,00022	0,000020	0,000019
	1/2000	1/54100	1/4500	1/50800	1/52700
0,6	0,0006	0,000022	0,00027	0,000024	0,000023
	1/1666	1/45000	1/3760	1/42300	1/34900
0,7	0,0007	0,000026	0,00031	0,000028	0,000027
	1/1429	1/38700	1/3220	1/36300	1/37600
0,8	0,0008	0,000030	0,00035	0,000031	0,000030
	1/1250	1/33900	1/2820	1/31800	1/32900
0,9	0,0009	0,000033	0,00040	0,000035	0,000034
	1/1111	1/30200	1/2500	1/28200	1/29300
1,0	0,0010	0,000037	0,00044	0,000039	0,000038
	1/1000	1/27100	1/2257	1/25500	1/26350
1,1	0,0011	0,000041	0,00048	0,000043	0,000042
	1/909	1/24600	1/2083	1/23100	1/24000
1,2	0,0012	0,000044	0,00053	0,000047	0,000046
	1/833	1/22600	1/1880	1/21200	1/21950
1,3	0,0013	0,000048	0,00057	0,000051	0,000049
	1/769	1/20900	1/1755	1/19500	1/20260
1,4	0,0014	0,000052	0,00062	0,000055	0,000053
	1/714	1/19300	1/1613	1/18100	1/18820
1,5	0,0015	0,000055	0,00066	0,000059	0,000057
	1/666	1/18100	1/1515	1/16900	1/17560
1,6	0,0016	0,000059	0,00070	0,000063	0,000061
	1/625	1/16900	1/1408	1/15900	1/16460
1,7	0,0017	0,000063	0,00075	0,000067	0,000065
	1/588	1/15800	1/1333	1/15000	1/15600

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
1,8	0,0018	0,000066	0,00079	0,000071	0,000068
	$\frac{1}{555}$	$\frac{1}{15100}$	$\frac{1}{1260}$	$\frac{1}{14100}$	$\frac{1}{14750}$
1,9	0,0019	0,000070	0,00084	0,000075	0,000072
	$\frac{1}{526}$	$\frac{1}{14200}$	$\frac{1}{1190}$	$\frac{1}{13300}$	$\frac{1}{13870}$
2,0	0,0020	0,000074	0,00090	0,000079	0,000076
	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{13600}$	$\frac{1}{1128}$	$\frac{1}{12700}$	$\frac{1}{13170}$
2,1	0,0021	0,000077	0,00093	0,000083	0,000080
	$\frac{1}{476}$	$\frac{1}{12900}$	$\frac{1}{1074}$	$\frac{1}{12100}$	$\frac{1}{12540}$
2,2	0,0022	0,000081	0,00098	0,000087	0,000084
	$\frac{1}{455}$	$\frac{1}{12300}$	$\frac{1}{1027}$	$\frac{1}{11500}$	$\frac{1}{11960}$
2,3	0,0023	0,000085	0,00102	0,000090	0,000087
	$\frac{1}{435}$	$\frac{1}{11800}$	$\frac{1}{981}$	$\frac{1}{11050}$	$\frac{1}{11460}$
2,4	0,0024	0,000089	0,00106	0,000094	0,000091
	$\frac{1}{417}$	$\frac{1}{11300}$	$\frac{1}{943}$	$\frac{1}{10590}$	$\frac{1}{10980}$
2,5	0,0025	0,000092	0,00111	0,000098	0,000095
	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{10800}$	$\frac{1}{903}$	$\frac{1}{10170}$	$\frac{1}{10540}$
2,6	0,0026	0,000096	0,00115	0,000102	0,000099
	$\frac{1}{384}$	$\frac{1}{10400}$	$\frac{1}{869}$	$\frac{1}{9790}$	$\frac{1}{10010}$
2,7	0,0027	0,000100	0,00120	0,000106	0,000103
	$\frac{1}{370}$	$\frac{1}{10000}$	$\frac{1}{836}$	$\frac{1}{9440}$	$\frac{1}{9760}$
2,8	0,0028	0,000103	0,00124	0,000110	0,000106
	$\frac{1}{357}$	$\frac{1}{9700}$	$\frac{1}{807}$	$\frac{1}{9080}$	$\frac{1}{9390}$
2,9	0,0029	0,000107	0,00128	0,000114	0,000110
	$\frac{1}{345}$	$\frac{1}{9400}$	$\frac{1}{779}$	$\frac{1}{8790}$	$\frac{1}{9080}$
3,0	0,0030	0,000110	0,00133	0,000118	0,000114
	$\frac{1}{333}$	$\frac{1}{9100}$	$\frac{1}{753}$	$\frac{1}{8500}$	$\frac{1}{8820}$
3,1	0,0031	0,000114	0,00137	0,000122	0,000118
	$\frac{1}{323}$	$\frac{1}{8760}$	$\frac{1}{728}$	$\frac{1}{8190}$	$\frac{1}{8490}$
3,2	0,0032	0,000118	0,00142	0,000126	0,000122
	$\frac{1}{313}$	$\frac{1}{8470}$	$\frac{1}{705}$	$\frac{1}{7980}$	$\frac{1}{8230}$
3,3	0,0033	0,000122	0,00146	0,000130	0,000125
	$\frac{1}{303}$	$\frac{1}{8210}$	$\frac{1}{684}$	$\frac{1}{7770}$	$\frac{1}{7980}$
3,4	0,0034	0,000125	0,00151	0,000134	0,000129
	$\frac{1}{294}$	$\frac{1}{7970}$	$\frac{1}{664}$	$\frac{1}{7510}$	$\frac{1}{7750}$
3,5	0,0035	0,000129	0,00155	0,000138	0,000133
	$\frac{1}{286}$	$\frac{1}{7740}$	$\frac{1}{645}$	$\frac{1}{7250}$	$\frac{1}{7520}$

Digitized by Google

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
3,6	0,0036	0,000133	0,00159	0,000142	0,000137
	$\frac{1}{278}$	$\frac{1}{7530}$	$\frac{1}{626}$	$\frac{1}{7060}$	$\frac{1}{7320}$
3,7	0,0037	0,000137	0,00164	0,000146	0,000141
	$\frac{1}{270}$	$\frac{1}{7320}$	$\frac{1}{607}$	$\frac{1}{6870}$	$\frac{1}{7120}$
3,8	0,0038	0,000140	0,00168	0,000150	0,000144
	$\frac{1}{263}$	$\frac{1}{7130}$	$\frac{1}{594}$	$\frac{1}{6700}$	$\frac{1}{6930}$
3,9	0,0039	0,000144	0,00173	0,000154	0,000148
	$\frac{1}{256}$	$\frac{1}{6940}$	$\frac{1}{579}$	$\frac{1}{6530}$	$\frac{1}{6750}$
4,0	0,0040	0,000148	0,00177	0,000158	0,000152
	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{6790}$	$\frac{1}{564}$	$\frac{1}{6350}$	$\frac{1}{6570}$
4,1	0,0041	0,000151	0,00182	0,000161	0,000156
	$\frac{1}{244}$	$\frac{1}{6610}$	$\frac{1}{551}$	$\frac{1}{6190}$	$\frac{1}{6430}$
4,2	0,0042	0,000155	0,00186	0,000165	0,000159
	$\frac{1}{239}$	$\frac{1}{6460}$	$\frac{1}{537}$	$\frac{1}{6050}$	$\frac{1}{6270}$
4,3	0,0043	0,000159	0,00191	0,000169	0,000163
	$\frac{1}{233}$	$\frac{1}{6300}$	$\frac{1}{525}$	$\frac{1}{5910}$	$\frac{1}{6120}$
4,4	0,0044	0,000162	0,00195	0,000173	0,000167
	$\frac{1}{228}$	$\frac{1}{6160}$	$\frac{1}{513}$	$\frac{1}{5770}$	$\frac{1}{5980}$
4,5	0,0045	0,000166	0,00199	0,000177	0,000171
	$\frac{1}{222}$	$\frac{1}{6020}$	$\frac{1}{502}$	$\frac{1}{5640}$	$\frac{1}{5850}$
4,6	0,0046	0,000170	0,00204	0,000181	0,000175
	$\frac{1}{217}$	$\frac{1}{5890}$	$\frac{1}{491}$	$\frac{1}{5520}$	$\frac{1}{5730}$
4,7	0,0047	0,000173	0,00208	0,000185	0,000178
	$\frac{1}{213}$	$\frac{1}{5760}$	$\frac{1}{480}$	$\frac{1}{5400}$	$\frac{1}{5610}$
4,8	0,0048	0,000177	0,00213	0,000189	0,000182
	$\frac{1}{09}$	$\frac{1}{5650}$	$\frac{1}{470}$	$\frac{1}{5290}$	$\frac{1}{5490}$
4,9	0,0049	0,000181	0 00217	0,000193	0,000186
	$\frac{1}{204}$	$\frac{1}{5520}$	$\frac{1}{460}$	$\frac{1}{5180}$	$\frac{1}{5380}$
5,0	0,0050	0,000185	0,00222	0,000197	0,000190
	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{5410}$	$\frac{1}{450}$	$\frac{1}{5080}$	$\frac{1}{5270}$
5,1	0,0051	0,000188	0,00226	0,000201	0,000194
	$\frac{1}{196}$	$\frac{1}{5310}$	$\frac{1}{442}$	$\frac{1}{4980}$	$\frac{1}{5170}$
5,2	0,0052	0,000192	0,00231	0,000205	0,000197
	$\frac{1}{192}$	$\frac{1}{5200}$	$\frac{1}{434}$	$\frac{1}{4890}$	$\frac{1}{5070}$
5,3	0,0053	0,000196	0,00235	0,000209	0,000201
	$\frac{1}{189}$	$\frac{1}{5110}$	$\frac{1}{427}$	$\frac{1}{4800}$	$\frac{1}{4970}$

Digitized by Google

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
5,4	0,0054	0,000200	0,00239	0,000213	0,000205
	$\frac{1}{185}$	$\frac{1}{5000}$	$\frac{1}{419}$	$\frac{1}{4710}$	$\frac{1}{4880}$
5,5	0,0055	0,000203	0,00244	0,000217	0,000209
	$\frac{1}{182}$	$\frac{1}{4920}$	$\frac{1}{411}$	$\frac{1}{4620}$	$\frac{1}{4800}$
5.6	0,0056	0,000207	0,00248	0,000221	0,000213
	$\frac{1}{179}$	$\frac{1}{4830}$	$\frac{1}{403}$	$\frac{1}{4540}$	$\frac{1}{4710}$
5,7	0,0057	0,000211	0,00253	0,000225	0,000216
	$\frac{1}{176}$	$\frac{1}{4750}$	$\frac{1}{396}$	$\frac{1}{4460}$	$\frac{1}{4620}$
5,8	0,0058	0,000214	0,00257	0,000228	0,000220
	$\frac{1}{172}$	$\frac{1}{4670}$	$\frac{1}{389}$	$\frac{1}{4380}$	$\frac{1}{4540}$
5,9	0,0059	0,000218	0,00262	0,000232	0.000224
	$\frac{1}{169}$	$\frac{1}{4590}$	$\frac{1}{382}$	$\frac{1}{4300}$	$\frac{1}{4460}$
6,0	0,0060	0,000222	0,00266	0,000236	0,000228
	$\frac{1}{166}$	$\frac{1}{4500}$	$\frac{1}{376}$	$\frac{1}{4230}$	$\frac{1}{4390}$
6,1	0,0061	0,000225	0,00270	0,000240	0,000232
	$\frac{1}{164}$	$\frac{1}{4440}$	$\frac{1}{370}$	$\frac{1}{4160}$	$\frac{1}{4320}$
6,2	0,0062	0,000229	0,00275	0,000244	0,000235
	$\frac{1}{161}$	$\frac{1}{4370}$	$\frac{1}{364}$	$\frac{1}{4090}$	$\frac{1}{4250}$
6,3	0,0063	0,000233	0,00279	0,000248	0,000239
	$\frac{1}{159}$	$\frac{1}{4300}$	$\frac{1}{358}$	$\frac{1}{4030}$	$\frac{1}{4180}$
6,4	0,0064	0,000236	0,00284	0,000252	0,000243
	$\frac{1}{156}$	$\frac{1}{4230}$	$\frac{1}{352}$	$\frac{1}{3970}$	$\frac{1}{4110}$
6,5	0,0065	0,000240	0,00288	0,000256	0,000247
	$\frac{1}{154}$	$\frac{1}{4160}$	$\frac{1}{347}$	$\frac{1}{3910}$	$\frac{1}{4050}$
6,6	0,0066	0,000244	0,00292	0,000260	0,000251
	$\frac{1}{151}$	$\frac{1}{4100}$	$\frac{1}{342}$	$\frac{1}{3850}$	$\frac{1}{3990}$
6,7	0,0067	0,000247	0,00297	0,000264	0,000254
	$\frac{1}{149}$	$\frac{1}{4040}$	$\frac{1}{337}$	$\frac{1}{3790}$	$\frac{1}{3930}$
6,8	0,0068	0,000251	0,00301	0,000268	0,000258
	$\frac{1}{147}$	$\frac{1}{3990}$	$\frac{1}{332}$	$\frac{1}{3730}$	$\frac{1}{3860}$
6,9	0,0069	0,000255	0,00306	0,000272	0,000262
	$\frac{1}{145}$	$\frac{1}{3930}$	$\frac{1}{327}$	$\frac{1}{3680}$	$\frac{1}{3790}$
7,0	0,0070	0,000258	0,00310	0,000276	0,000266
	$\frac{1}{143}$	$\frac{1}{3870}$	$\frac{1}{322}$	$\frac{1}{3630}$	$\frac{1}{3760}$
7,1	0,0071	0,000262	0,00314	0,000280	0,000270
	$\frac{1}{141}$	$\frac{1}{3820}$	$\frac{1}{318}$	$\frac{1}{3570}$	$\frac{1}{3710}$

Digitized by Google

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
7,2	0,0072	0,000266	0,00319	0,000284	0,000273
	$\frac{1}{139}$	$\frac{1}{3760}$	$\frac{1}{314}$	$\frac{1}{3520}$	$\frac{1}{3660}$
7,3	0,0073	0,000270	0,00323	0,000287	0,000277
	$\frac{1}{137}$	$\frac{1}{3700}$	$\frac{1}{310}$	$\frac{1}{3470}$	$\frac{1}{3610}$
7,4	0,0074	0,000273	0,00328	0,000291	0,000281
	$\frac{1}{135}$	$\frac{1}{3650}$	$\frac{1}{306}$	$\frac{1}{3430}$	$\frac{1}{3560}$
7,5	0,0075	0,000277	0,00332	0,000295	0,000285
	$\frac{1}{133}$	$\frac{1}{3610}$	$\frac{1}{302}$	$\frac{1}{3380}$	$\frac{1}{3516}$
7,6	0,0076	0,000281	0,00337	0,000299	0,000289
	$\frac{1}{132}$	$\frac{1}{3560}$	$\frac{1}{298}$	$\frac{1}{3340}$	$\frac{1}{3460}$
7,7	0,0077	0,000284	0,00341	0,000303	0,000292
	$\frac{1}{130}$	$\frac{1}{3520}$	$\frac{1}{293}$	$\frac{1}{3300}$	$\frac{1}{3420}$
7,8	0,0078	0,000288	0,00345	0,000307	0,000296
	$\frac{1}{128}$	$\frac{1}{3470}$	$\frac{1}{289}$	$\frac{1}{3260}$	$\frac{1}{3370}$
7,9	0,0079	0,000292	0,00350	0,000311	0,000300
	$\frac{1}{127}$	$\frac{1}{3430}$	$\frac{1}{285}$	$\frac{1}{3220}$	$\frac{1}{3333}$
8,0	0,0080	0,000296	0,00355	0,000315	0,000304
	$\frac{1}{125}$	$\frac{1}{3390}$	$\frac{1}{282}$	$\frac{1}{3180}$	$\frac{1}{3290}$
8,1	0,0081	0,000299	0,00359	0,000319	0,000308
	$\frac{1}{123}$	$\frac{1}{3340}$	$\frac{1}{279}$	$\frac{1}{3140}$	$\frac{1}{3250}$
8,2	0,0082	0,000303	0,00363	0,000323	0,000311
	$\frac{1}{122}$	$\frac{1}{3300}$	$\frac{1}{274}$	$\frac{1}{3100}$	$\frac{1}{3210}$
8,3	0,0083	0,000307	0,00368	0,000327	0,000315
	$\frac{1}{120}$	$\frac{1}{3260}$	$\frac{1}{270}$	$\frac{1}{3060}$	$\frac{1}{3170}$
8,4	0,0084	0,000310	0,00372	0,000331	0,000319
	$\frac{1}{119}$	$\frac{1}{3220}$	$\frac{1}{267}$	$\frac{1}{3020}$	$\frac{1}{3140}$
8,5	0,0085	0,000314	0,00377	0,000335	0,000323
	$\frac{1}{118}$	$\frac{1}{3180}$	$\frac{1}{265}$	$\frac{1}{2980}$	$\frac{1}{3100}$
8,6	0,0086	0,000318	0,00381	0,000339	0,000327
	$\frac{1}{116}$	$\frac{1}{3150}$	$\frac{1}{262}$	$\frac{1}{2950}$	$\frac{1}{3060}$
8,7	0,0087	0,000321	0,00386	0,000342	0,000330
	$\frac{1}{115}$	$\frac{1}{3110}$	$\frac{1}{259}$	$\frac{1}{2920}$	$\frac{1}{3030}$
8,8	0,0088	0,000325	0,00390	0,000346	0,000334
	$\frac{1}{114}$	$\frac{1}{3080}$	$\frac{1}{256}$	$\frac{1}{2880}$	$\frac{1}{2990}$
8,9	0,0089	0,000329	0,00395	0,000350	0,000338
	$\frac{1}{112}$	$\frac{1}{3050}$	$\frac{1}{253}$	$\frac{1}{2850}$	$\frac{1}{2960}$

Digitized by Google

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
9,0	0,0090	0,000333	0,00399	0,000354	0,000342
	$\frac{1}{111}$	$\frac{1}{3010}$	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{2820}$	$\frac{1}{2930}$
9,1	0,0091	0,000336	0,00403	0,000358	0,000345
	$\frac{1}{110}$	$\frac{1}{2980}$	$\frac{1}{248}$	$\frac{1}{2790}$	$\frac{1}{2900}$
9,2	0,0092	0,000340	0,00408	0,000362	0,000349
	$\frac{1}{109}$	$\frac{1}{2950}$	$\frac{1}{245}$	$\frac{1}{2760}$	$\frac{1}{2860}$
9,3	0,0093	0,000344	0,00412	0,000366	0,000353
	$\frac{1}{108}$	$\frac{1}{2910}$	$\frac{1}{242}$	$\frac{1}{2730}$	$\frac{1}{2830}$
9,4	0,0094	0,000347	0,00417	0,000370	0,000357
	$\frac{1}{106}$	$\frac{1}{2880}$	$\frac{1}{240}$	$\frac{1}{2700}$	$\frac{1}{2800}$
9,5	0,0095	0,000351	0,00421	0,000374	0,000361
	$\frac{1}{105}$	$\frac{1}{2850}$	$\frac{1}{237}$	$\frac{1}{2670}$	$\frac{1}{2770}$
9,6	0,0096	0,000354	0,00425	0,000378	0,000364
	$\frac{1}{104}$	$\frac{1}{2820}$	$\frac{1}{235}$	$\frac{1}{2640}$	$\frac{1}{2740}$
9,7	0,0097	0,000358	0,00430	0,000382	0,000368
	$\frac{1}{103}$	$\frac{1}{2790}$	$\frac{1}{233}$	$\frac{1}{2620}$	$\frac{1}{2710}$
9,8	0,0098	0,000362	0,00434	0,000386	0,000372
	$\frac{1}{102}$	$\frac{1}{2760}$	$\frac{1}{230}$	$\frac{1}{2590}$	$\frac{1}{2680}$
9,9	0,0099	0,000366	0,00439	0,000390	0,000376
	$\frac{1}{101}$	$\frac{1}{2730}$	$\frac{1}{228}$	$\frac{1}{2570}$	$\frac{1}{2650}$
10,0	0,0100	0,000369	0,00442	0,000394	0,000380
	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{2710}$	$\frac{1}{226}$	$\frac{1}{2550}$	$\frac{1}{2635}$
10,2	0,0102	0,000376	0,00452	0,000402	0,000388
	$\frac{1}{98}$	$\frac{1}{2660}$	$\frac{1}{222}$	$\frac{1}{2490}$	$\frac{1}{2580}$
10,4	0,0104	0,000384	0,00461	0,000410	0,000395
	$\frac{1}{96}$	$\frac{1}{2610}$	$\frac{1}{219}$	$\frac{1}{2460}$	$\frac{1}{2530}$
10,6	0,0106	0,000391	0,00470	0,000418	0,000403
	$\frac{1}{94}$	$\frac{1}{2560}$	$\frac{1}{215}$	$\frac{1}{2410}$	$\frac{1}{2480}$
10,8	0,0108	0,000397	0,00479	0,000426	0,000411
	$\frac{1}{92}$	$\frac{1}{2510}$	$\frac{1}{212}$	$\frac{1}{2360}$	$\frac{1}{2440}$
11,0	0,0110	0,000406	0,00487	0,000433	0,000418
	$\frac{1}{91}$	$\frac{1}{2460}$	$\frac{1}{208}$	$\frac{1}{2310}$	$\frac{1}{2400}$
11,2	0,0112	0,000413	0,00496	0,000441	0,000426
	$\frac{1}{89}$	$\frac{1}{2420}$	$\frac{1}{204}$	$\frac{1}{2270}$	$\frac{1}{2350}$
11,4	0,0114	0,000421	0,00505	0,000449	0,000433
	$\frac{1}{87}$	$\frac{1}{2380}$	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{2230}$	$\frac{1}{2310}$

Digitized by Google

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
11,6	0,0116	0,000428	0,00514	0,000457	0,000441
	$\frac{1}{85}$	$\frac{1}{2340}$	$\frac{1}{196}$	$\frac{1}{2200}$	$\frac{1}{2265}$
11,8	0,0118	0,000436	0,00523	0,000465	0,000449
	$\frac{1}{84}$	$\frac{1}{2300}$	$\frac{1}{192}$	$\frac{1}{2160}$	$\frac{1}{2230}$
12,0	0,0120	0,000443	0,00532	0,000473	0,000456
	$\frac{1}{83}$	$\frac{1}{2260}$	$\frac{1}{188}$	$\frac{1}{2120}$	$\frac{1}{2195}$
12,2	0,0122	0,000450	0,00540	0,000481	0,000464
	$\frac{1}{82}$	$\frac{1}{2220}$	$\frac{1}{184}$	$\frac{1}{2080}$	$\frac{1}{2140}$
12,4	0,0124	0,000458	0,00548	0,000489	0,000472
	$\frac{1}{80}$	$\frac{1}{2180}$	$\frac{1}{181}$	$\frac{1}{2030}$	$\frac{1}{2110}$
12,6	0,0126	0,000465	0,00557	0,000498	0,000480
	$\frac{1}{79}$	$\frac{1}{2150}$	$\frac{1}{179}$	$\frac{1}{2000}$	$\frac{1}{2080}$
12,8	0,0128	0,000473	0,00566	0,000505	0,000487
	$\frac{1}{78}$	$\frac{1}{2120}$	$\frac{1}{177}$	$\frac{1}{1970}$	$\frac{1}{2050}$
13,0	0,0130	0,000480	0,00574	0,000512	0,000494
	$\frac{1}{77}$	$\frac{1}{2090}$	$\frac{1}{175}$	$\frac{1}{1950}$	$\frac{1}{2026}$
13,2	0,0132	0,000487	0,00583	0,000520	0,000502
	$\frac{1}{76}$	$\frac{1}{2050}$	$\frac{1}{172}$	$\frac{1}{1920}$	$\frac{1}{1990}$
13,4	0,0134	0,000495	0,00591	0,000528	0,000510
	$\frac{1}{75}$	$\frac{1}{2030}$	$\frac{1}{169}$	$\frac{1}{1890}$	$\frac{1}{1960}$
13,6	0,0136	0,000502	0,00600	0,000536	0,000517
	$\frac{1}{73}$	$\frac{1}{2000}$	$\frac{1}{166}$	$\frac{1}{1860}$	$\frac{1}{1930}$
13,8	0,0138	0,000509	0,00608	0,000544	0,000524
	$\frac{1}{72}$	$\frac{1}{1970}$	$\frac{1}{163}$	$\frac{1}{1830}$	$\frac{1}{1900}$
14,0	0,0140	0,000517	0,00616	0,000552	0,000531
	$\frac{1}{71}$	$\frac{1}{1930}$	$\frac{1}{161}$	$\frac{1}{1810}$	$\frac{1}{1882}$
14,2	0,0142	0,000524	0,00625	0,000560	0,000539
	$\frac{1}{70}$	$\frac{1}{1900}$	$\frac{1}{159}$	$\frac{1}{1780}$	$\frac{1}{1856}$
14,4	0,0144	0,000532	0,00634	0,000568	0,000547
	$\frac{1}{69}$	$\frac{1}{1870}$	$\frac{1}{157}$	$\frac{1}{1750}$	$\frac{1}{1831}$
14,6	0,0146	0,000539	0,00642	0,000576	0,000554
	$\frac{1}{68}$	1 1860	$\frac{1}{155}$	$\frac{1}{1730}$	$\frac{1}{1806}$
14,8	0,0148	0,000547	0,00651	0,000584	0,000562
	$\frac{1}{67}$	$\frac{1}{1830}$	$\frac{1}{153}$	$\frac{1}{1710}$	$\frac{1}{1781}$
15,0	0,0150	0,000554	0,00660	0,000591	0,000569
	$\frac{1}{67}$	$\frac{1}{1810}$	$\frac{1}{152}$	$\frac{1}{1690}$	$\frac{1}{1756}$

Digitized by Google

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
15,2	0,0152	0,000561	0,00669	0,000599	0,000577
	$\frac{1}{66}$	$\frac{1}{1780}$	$\frac{1}{149}$	$\frac{1}{1670}$	$\frac{1}{1731}$
15,4	0,0154	0,000569	0,00678	0,000607	0,000584
	$\frac{1}{65}$	$\frac{1}{1750}$	$\frac{1}{147}$	$\frac{1}{1650}$	$\frac{1}{1711}$
15,6	0,0156	0,000576	0,00687	0,000615	0,000592
	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{1730}$	$\frac{1}{145}$	$\frac{1}{1630}$	$\frac{1}{1689}$
15,8	0,0158	0,000584	0,00696	0,000623	0,000600
	$\frac{1}{63}$	$\frac{1}{1710}$	$\frac{1}{143}$	$\frac{1}{1610}$	$\frac{1}{1666}$
16,0	0,0160	0,000590	0,00704	0,000630	0,000607
	$\frac{1}{63}$	$\frac{1}{1690}$	$\frac{1}{141}$	$\frac{1}{1590}$	$\frac{1}{1646}$
16,2	0,0162	0,000597	0,00713	0,000638	0,000615
	$\frac{1}{62}$	$\frac{1}{1660}$	$\frac{1}{139}$	$\frac{1}{1570}$	$\frac{1}{1626}$
16,4	0,0164	0,000605	0,00722	0,000646	0,000622
	$\frac{1}{61}$	$\frac{1}{1640}$	$\frac{1}{137}$	$\frac{1}{1550}$	$\frac{1}{1606}$
16,6	0,0166	0,000612	0,00731	0,000654	0,000630
	$\frac{1}{60}$	$\frac{1}{1620}$	$\frac{1}{136}$	$\frac{1}{1530}$	$\frac{1}{1585}$
16,8	0,0168	0,000620	0,00740	0,000662	0,000638
	$\frac{1}{59}$	$\frac{1}{1600}$	$\frac{1}{134}$	$\frac{1}{1510}$	$\frac{1}{1567}$
17,0	0,0170	0,000627	0,00748	0,000670	0,000645
	$\frac{1}{59}$	$\frac{1}{1580}$	$\frac{1}{133}$	$\frac{1}{1500}$	$\frac{1}{1550}$
17,2	0,0172	0,000634	0,00757	0,000678	0,000653
	$\frac{1}{58}$	$\frac{1}{1560}$	$\frac{1}{131}$	$\frac{1}{1480}$	$\frac{1}{1530}$
17,4	0,0174	0,000642	0,00766	0,000686	0,000660
	$\frac{1}{57}$	$\frac{1}{1540}$	$\frac{1}{130}$	$\frac{1}{1460}$	$\frac{1}{1520}$
17,6	0,0176	0,000649	0,00775	0,000694	0,000668
	$\frac{1}{57}$	$\frac{1}{1530}$	$\frac{1}{128}$	$\frac{1}{1440}$	$\frac{1}{1500}$
17,8	0,0178	0.000656	0,00784	0,000702	0,000675
	$\frac{1}{56}$	$\frac{1}{1520}$	$\frac{1}{127}$	$\frac{1}{1420}$	$\frac{1}{1483}$
18,0	0,0180	0,000664	0,00794	0,000709	0,000683
	$\frac{1}{56}$	$\frac{1}{1510}$	$\frac{1}{126}$	$\frac{1}{1410}$	$\frac{1}{1475}$
18,2	0,0182	0,000671	0,00803	0,000717	0,000691
	$\frac{1}{55}$	$\frac{1}{1490}$	$\frac{1}{124}$	$\frac{1}{1390}$	$\frac{1}{1457}$
18,4	0,0184	0,000679	0,00812	0,000725	0,000699
	$\frac{1}{54}$	$\frac{1}{1470}$	$\frac{1}{123}$	$\frac{1}{1370}$	$\frac{1}{1439}$
18,6	0,0186	0,000686	0,00821	0,000733	0,000706
	$\frac{1}{54}$	$\frac{1}{1450}$	$\frac{1}{122}$	$\frac{1}{1360}$	$\frac{1}{1421}$

Digitized by Google

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
18,8	0,0188	0,000694	0,00830	0,000741	0,000714
	$\frac{1}{53}$	$\frac{1}{1440}$	$\frac{1}{120}$	$\frac{1}{1340}$	$\frac{1}{1413}$
19,0	0,0190	0,000701	0,00838	0,000749	0,000721
	$\frac{1}{53}$	$\frac{1}{1420}$	$\frac{1}{119}$	$\frac{1}{1330}$	$\frac{1}{1387}$
19,2	0,0192	0,000708	0,00847	0,000757	0,000729
	$\frac{1}{52}$	$\frac{1}{1410}$	$\frac{1}{117}$	$\frac{1}{1310}$	$\frac{1}{1372}$
19,4	0,0194	0,000716	0,00856	0,000765	0,000737
	$\frac{1}{51}$	$\frac{1}{1390}$	$\frac{1}{116}$	$\frac{1}{1300}$	$\frac{1}{1356}$
19,6	0,0196	0,000723	0,00866	0,000773	0,000745
	$\frac{1}{51}$	$\frac{1}{1380}$	$\frac{1}{115}$	$\frac{1}{1290}$	$\frac{1}{1342}$
19,8	0,0198	0,000731	0,00876	0,000780	0,000752
	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{1370}$	$\frac{1}{114}$	$\frac{1}{1280}$	$\frac{1}{1330}$
20,0	0,0200	0,000738	0,00886	0,000787	0,000759
	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{1360}$	$\frac{1}{113}$	$\frac{1}{1270}$	$\frac{1}{1317}$
20,2	0,0202	0,000745	0,00895	0,000795	0,000767
	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{1340}$	$\frac{1}{111}$	$\frac{1}{1260}$	$\frac{1}{1304}$
20,4	0,0204	0,000752	0,00904	0,000803	0,000775
	$\frac{1}{49}$	$\frac{1}{1330}$	$\frac{1}{110}$	$\frac{1}{1240}$	$\frac{1}{1291}$
20,6	0,0206	0,000760	0,00913	0,000811	0,000782
	$\frac{1}{49}$	$\frac{1}{1320}$	$\frac{1}{109}$	$\frac{1}{1230}$	$\frac{1}{1278}$
20,8	0,0208	0,000767	0,00922	0,000819	0,000790
	$\frac{1}{48}$	$\frac{1}{1300}$	$\frac{1}{108}$	$\frac{1}{1220}$	$\frac{1}{1266}$
21,0	0,0210	0,000775	0,00931	0,000826	0,000797
	$\frac{1}{48}$	$\frac{1}{1290}$	$\frac{1}{107}$	$\frac{1}{1210}$	$\frac{1}{1254}$
21,2	0,0212	0,000782	0,00940	0,000884	0,000805
	$\frac{1}{48}$	$\frac{1}{1280}$	$\frac{1}{106}$	$\frac{1}{1190}$	$\frac{1}{1242}$
21,4	0,0214	0,000789	0,00949	0,000842	0,000813
	$\frac{1}{47}$	$\frac{1}{1260}$	$\frac{1}{105}$	$\frac{1}{1180}$	$\frac{1}{1230}$
21,6	0,0216	0,000797	0,00958	0,000850	0,000820
	$\frac{1}{47}$	$\frac{1}{1250}$	$\frac{1}{104}$	$\frac{1}{1170}$	$\frac{1}{1218}$
21,8	0,0218	0,000804	0,00967	0,000858	0,000828
	$\frac{1}{46}$	$\frac{1}{1240}$	$\frac{1}{103}$	$\frac{1}{1160}$	$\frac{1}{1207}$
22,0	0,0220	0,000812	0,00975	0,000866	0,000835
	$\frac{1}{46}$	$\frac{1}{1230}$	$\frac{1}{103}$	$\frac{1}{1150}$	$\frac{1}{1196}$
22,2	0,0222	0,000819	0,00984	0,000874	0,000843
	$\frac{1}{46}$	$\frac{1}{1220}$	$\frac{1}{102}$	$\frac{1}{1140}$	$\frac{1}{1185}$

Digitized by Google

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
22,4	0,0224	0,000826	0,00993	0,000882	0,000850
	$\frac{1}{45}$	$\frac{1}{1210}$	$\frac{1}{101}$	$\frac{1}{1130}$	$\frac{1}{1175}$
22,6	0,0226	0,000833	0,01002	0,000890	0,000858
	$\frac{1}{45}$	$\frac{1}{1200}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{1120}$	$\frac{1}{1165}$
22,8	0,0228	0,000840	0,01011	0,000898	0,000866
	$\frac{1}{44}$	$\frac{1}{1190}$	$\frac{1}{99}$	$\frac{1}{1110}$	$\frac{1}{1156}$
23,0	0,0230	0,000848	0,01019	0,000905	0,000873
	$\frac{1}{44}$	$\frac{1}{1180}$	$\frac{1}{98}$	$\frac{1}{1105}$	$\frac{1}{1146}$
23,2	0,0232	0,000855	0,01028	0,000913	0,000881
	$\frac{1}{44}$	$\frac{1}{1170}$	$\frac{1}{97}$	$\frac{1}{1095}$	$\frac{1}{1136}$
23,4	0,0234	0,000862	0,01037	0,000921	0,000888
	$\frac{1}{43}$	$\frac{1}{1160}$	$\frac{1}{96}$	$\frac{1}{1086}$	$\frac{1}{1126}$
23,6	0,0236	0,000870	0,01046	0,000929	0,000895
	$\frac{1}{43}$	$\frac{1}{1150}$	$\frac{1}{95}$	$\frac{1}{1077}$	$\frac{1}{1116}$
23,8	0,0238	0,000878	0,01055	0,000937	0,000903
	$\frac{1}{42}$	$\frac{1}{1140}$	$\frac{1}{94}$	$\frac{1}{1068}$	$\frac{1}{1107}$
24,0	0,0240	0,000886	0,01063	0,000944	0,000911
	$\frac{1}{42}$	$\frac{1}{1130}$	$\frac{1}{94}$	$\frac{1}{1059}$	$\frac{1}{1098}$
24,2	0,0242	0,000893	0,01072	0,000952	0,000919
	$\frac{1}{42}$	$\frac{1}{1120}$	$\frac{1}{93}$	$\frac{1}{1051}$	$\frac{1}{1089}$
24,4	0,0244	0,000900	0,01081	0,000960	0,000927
	$\frac{1}{41}$	$\frac{1}{1110}$	$\frac{1}{92}$	$\frac{1}{1043}$	$\frac{1}{1080}$
24,6	0,0246	0,000908	0,01090	0,000968	0,000935
	$\frac{1}{41}$	$\frac{1}{1100}$	$\frac{1}{91}$	$\frac{1}{1035}$	$\frac{1}{1071}$
24,8	0,0248	0,000915	0,01099	0,000974	0,000942
	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{1090}$	$\frac{1}{91}$	$\frac{1}{1026}$	$\frac{1}{1062}$
25,0	0,0250	0,000923	0,01107	0,000983	0,000949
	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{1080}$	$\frac{1}{90}$	$\frac{1}{1017}$	$\frac{1}{1054}$
25,5	0,0255	0,000941	0,01129	0,001003	0,000968
	$\frac{1}{39}$	$\frac{1}{1060}$	$\frac{1}{88}$	$\frac{1}{999}$	$\frac{1}{1033}$
26,0	0,0260	0,000959	0,01151	0,001023	0,000987
	$\frac{1}{38}$	$\frac{1}{1040}$	$\frac{1}{87}$	$\frac{1}{979}$	$\frac{1}{1013}$
26,5	0,0265	0,000977	0,01173	0,001043	0,001006
	$\frac{1}{38}$	$\frac{1}{1020}$	$\frac{1}{85}$	$\frac{1}{961}$	$\frac{1}{994}$
27,0	0,0270	0,000996	0,01195	0,001062	0,001025
	$\frac{1}{37}$	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{84}$	$\frac{1}{944}$	$\frac{1}{976}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
27,5	0,0275	0,001014	0,01217	0,001082	0,001044
	$\frac{1}{36}$	$\frac{1}{985}$	$\frac{1}{82}$	$\frac{1}{926}$	$\frac{1}{957}$
28,0	0,0280	0,001033	0,01239	0,001102	0,001063
	$\frac{1}{36}$	$\frac{1}{979}$	$\frac{1}{81}$	$\frac{1}{908}$	$\frac{1}{939}$
28,5	0,0285	0,001051	0,01261	0,001122	0,001082
	$\frac{1}{35}$	$\frac{1}{955}$	$\frac{1}{79}$	$\frac{1}{883}$	$\frac{1}{923}$
29,0	0,0290	0,001070	0,01283	0,001141	0,001101
	$\frac{1}{35}$	$\frac{1}{940}$	$\frac{1}{78}$	$\frac{1}{879}$	$\frac{1}{908}$
29,5	0,0295	0,001088	0,01305	0,001161	0,001120
	$\frac{1}{34}$	$\frac{1}{925}$	$\frac{1}{76}$	$\frac{1}{861}$	$\frac{1}{895}$
30,0	0,0300	0,001107	0,01330	0,001180	0,001139
	$\frac{1}{33}$	$\frac{1}{919}$	$\frac{1}{75}$	$\frac{1}{848}$	$\frac{1}{882}$
30,5	0,0305	0,001126	0,01352	0,001200	0,001158
	$\frac{1}{33}$	$\frac{1}{894}$	$\frac{1}{74}$	$\frac{1}{833}$	$\frac{1}{865}$
31,0	0,0310	0,001144	0,01374	0,001220	0,001177
	$\frac{1}{32}$	$\frac{1}{876}$	$\frac{1}{73}$	$\frac{1}{819}$	$\frac{1}{849}$
31,5	0,0315	0,001162	0,01396	0,001240	0,001196
	$\frac{1}{32}$	$\frac{1}{861}$	$\frac{1}{72}$	$\frac{1}{894}$	$\frac{1}{836}$
32,0	0,0320	0,001181	0,01418	0,001260	0,001215
	$\frac{1}{31}$	$\frac{1}{847}$	$\frac{1}{71}$	$\frac{1}{797}$	$\frac{1}{823}$
32,5	0,0325	0,001199	0,01440	0,001280	0,001234
	$\frac{1}{31}$	$\frac{1}{834}$	$\frac{1}{70}$	$\frac{1}{780}$	$\frac{1}{819}$
33,0	0,0330	0,001218	0,01462	0,001299	0,001253
	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{821}$	$\frac{1}{68}$	$\frac{1}{770}$	$\frac{1}{798}$
33,5	0,0335	0,001236	0,01484	0,001319	0,001272
	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{809}$	$\frac{1}{67}$	$\frac{1}{759}$	$\frac{1}{786}$
34,0	0,0340	0,001255	0,01506	0,001338	0,001291
	$\frac{1}{29}$	$\frac{1}{797}$	$\frac{1}{66}$	$\frac{1}{747}$	$\frac{1}{775}$
34,5	0,0345	0,001273	0,01528	0,001358	0,001310
	$\frac{1}{29}$	$\frac{1}{785}$	$\frac{1}{65}$	$\frac{1}{737}$	$\frac{1}{763}$
35,0	0,0350	0,001292	0,01550	0,001378	0,001329
	$\frac{1}{29}$	$\frac{1}{774}$	$\frac{1}{65}$	$\frac{1}{726}$	$\frac{1}{752}$
35,5	0,0355	0,001310	0,01572	0,001398	0,001348
	$\frac{1}{28}$	$\frac{1}{763}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{715}$	$\frac{1}{742}$
36,0	0,0360	0,001328	0,01594	0,001417	0,001367
	$\frac{1}{28}$	$\frac{1}{753}$	$\frac{1}{63}$	$\frac{1}{706}$	$\frac{1}{732}$

Digitized by Google

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
36,5	0,0365	0,001346	0,01616	0,001427	0,001386
	1/27	1/742	1/62	1/696	1/722
37,0	0,0370	0,001365	0,01638	0,001457	0,001405
	1/27	1/732	1/61	1/687	1/712
37,5	0,0375	0,001383	0,01660	0,001477	0,001424
	1/26	1/721	1/60	1/678	1/702
38,0	0,0380	0,001402	0,01682	0,001496	0,001443
	1/26	1/713	1/59	1/670	1/693
38,5	0,0385	0,001420	0,01704	0,001516	0,001462
	1/26	1/703	1/58	1/661	1/684
39,0	0,0390	0,001439	0,01726	0,001536	0,001481
	1/26	1/694	1/58	1/653	1/675
39,5	0,0395	0,001457	0,01748	0,001556	0,001500
	1/25	1/684	1/57	1/644	1/666
40,0	0,0400	0,001476	0,01773	0,001575	0,001518
	1/25	1/679	1/56	1/635	1/657
40,5	0,0405	0,001494	0,01795	0,001595	0,001537
	1/24	1/670	1/55	1/627	1/650
41,0	0,0410	0,001513	0,01817	0,001614	0,001556
	1/24	1/661	1/55	1/619	1/643
41,5	0,0415	0,001531	0,01839	0,001634	0,001575
	1/24	1/653	1/54	1/612	1/635
42,0	0,0420	0,001550	0,01861	0,001654	0,001594
	1/24	1/646	1/54	1/605	1/627
42,5	0,0425	0,001568	0,01883	0,001674	0,001613
	1/23	1/638	1/53	1/598	1/619
43,0	0,0430	0,001587	0,01905	0,001693	0,001632
	1/23	1/630	1/53	1/591	1/612
43,5	0,0435	0,001605	0,01927	0,001713	0,001651
	1/23	1/623	1/52	1/584	1/605
44,0	0,0440	0,001624	0,01949	0,001733	0,001670
	1/23	1/616	1/51	1/577	1/598
44,5	0,0445	0,001642	0,01971	0,001753	0,001689
	1/22	1/609	1/51	1/570	1/591
45,0	0,0450	0,001661	0,01993	0,001772	0,001708
	1/22	1/602	1/50	1/564	1/585

Digitized by Google

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
45,5	0,0455	0,001679	0,02015	0,001792	0,001727
	$\frac{1}{22}$	$\frac{1}{595}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{558}$	$\frac{1}{579}$
46,0	0,0460	0,001697	0,02037	0,001811	0,001746
	$\frac{1}{22}$	$\frac{1}{589}$	$\frac{1}{49}$	$\frac{1}{552}$	$\frac{1}{573}$
46,5	0,0465	0,001715	0,02059	0,001831	0,001765
	$\frac{1}{21}$	$\frac{1}{582}$	$\frac{1}{49}$	$\frac{1}{546}$	$\frac{1}{567}$
47,0	0,0470	0,001734	0,02082	0,001851	0,001784
	$\frac{1}{21}$	$\frac{1}{576}$	$\frac{1}{48}$	$\frac{1}{540}$	$\frac{1}{561}$
47,5	0,0475	0,001752	0,02105	0,001871	0,001803
	$\frac{1}{21}$	$\frac{1}{570}$	$\frac{1}{48}$	$\frac{1}{534}$	$\frac{1}{555}$
48,0	0,0480	0,001771	0,02127	0,001890	0,001822
	$\frac{1}{21}$	$\frac{1}{565}$	$\frac{1}{47}$	$\frac{1}{529}$	$\frac{1}{549}$
48,5	0,0485	0,001789	0,02149	0,001910	0,001841
	$\frac{1}{21}$	$\frac{1}{558}$	$\frac{1}{47}$	$\frac{1}{523}$	$\frac{1}{543}$
49,0	0,0490	0,001810	0,02172	0,001930	0,001860
	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{552}$	$\frac{1}{46}$	$\frac{1}{518}$	$\frac{1}{538}$
49,5	0,0495	0,001828	0,02199	0,001950	0,001879
	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{547}$	$\frac{1}{46}$	$\frac{1}{513}$	$\frac{1}{532}$
50	0,0500	0,001847	0,02217	0,001969	0,001898
	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{542}$	$\frac{1}{45}$	$\frac{1}{508}$	$\frac{1}{527}$
51	0,0510	0,001884	0,02261	0,002008	0,001936
	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{531}$	$\frac{1}{44}$	$\frac{1}{498}$	$\frac{1}{517}$
52	0,0520	0,001921	0,02305	0,002048	0,001974
	$\frac{1}{19}$	$\frac{1}{520}$	$\frac{1}{43}$	$\frac{1}{489}$	$\frac{1}{507}$
53	0,0530	0,001958	0,02349	0,002087	0,002012
	$\frac{1}{19}$	$\frac{1}{511}$	$\frac{1}{43}$	$\frac{1}{480}$	$\frac{1}{497}$
54	0,0540	0,001995	0,02393	0,002127	0,002050
	$\frac{1}{19}$	$\frac{1}{501}$	$\frac{1}{42}$	$\frac{1}{471}$	$\frac{1}{488}$
55	0,0550	0,002032	0,02437	0,002166	0,002088
	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{492}$	$\frac{1}{41}$	$\frac{1}{462}$	$\frac{1}{480}$
56	0,0560	0,002068	0,02481	0,002205	0,002126
	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{483}$	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{454}$	$\frac{1}{471}$
57	0,0570	0,002105	0,02525	0,002245	0,002164
	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{475}$	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{446}$	$\frac{1}{462}$
58	0,0580	0,002142	0,02570	0,002284	0,002202
	$\frac{1}{17}$	$\frac{1}{467}$	$\frac{1}{39}$	$\frac{1}{438}$	$\frac{1}{454}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
59	0,0590	0,002179	0,02615	0,002324	0,002240
	$\frac{1}{17}$	$\frac{1}{459}$	$\frac{1}{38}$	$\frac{1}{430}$	$\frac{1}{446}$
60	0,0600	0,002216	0,02660	0,002363	0,002278
	$\frac{1}{17}$	$\frac{1}{450}$	$\frac{1}{38}$	$\frac{1}{423}$	$\frac{1}{439}$
61	0,0610	0,002253	0,02704	0,002402	0,002316
	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{444}$	$\frac{1}{37}$	$\frac{1}{416}$	$\frac{1}{432}$
62	0,0620	0,002290	0,02748	0,002442	0,002354
	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{437}$	$\frac{1}{36}$	$\frac{1}{409}$	$\frac{1}{425}$
63	0,0630	0,002327	0,02792	0,002481	0,002392
	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{130}$	$\frac{1}{36}$	$\frac{1}{403}$	$\frac{1}{418}$
64	0,0640	0,002364	0,02836	0,002521	0,002430
	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{423}$	$\frac{1}{35}$	$\frac{1}{397}$	$\frac{1}{411}$
65	0,0650	0,002401	0,02880	0,002560	0,002468
	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{416}$	$\frac{1}{35}$	$\frac{1}{391}$	$\frac{1}{405}$
66	0,0660	0,002438	0,02924	0,002600	0,002506
	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{410}$	$\frac{1}{34}$	$\frac{1}{385}$	$\frac{1}{399}$
67	0,0670	0,002474	0,02968	0,002639	0,002544
	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{404}$	$\frac{1}{34}$	$\frac{1}{379}$	$\frac{1}{393}$
68	0,0680	0,002511	0,03012	0,002678	0,002582
	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{399}$	$\frac{1}{33}$	$\frac{1}{373}$	$\frac{1}{387}$
69	0,0690	0,002548	0,03056	0,002718	0,002620
	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{393}$	$\frac{1}{33}$	$\frac{1}{368}$	$\frac{1}{381}$
70	0,0700	0,002585	0,03100	0,002756	0,002657
	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{387}$	$\frac{1}{32}$	$\frac{1}{363}$	$\frac{1}{376}$
71	0,0710	0,002623	0,03144	0,002795	0,002695
	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{382}$	$\frac{1}{32}$	$\frac{1}{357}$	$\frac{1}{371}$
72	0,0720	0,002660	0,03188	0,002835	0,002733
	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{376}$	$\frac{1}{31}$	$\frac{1}{352}$	$\frac{1}{366}$
73	0,0730	0,002697	0,03232	0,002874	0,002771
	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{370}$	$\frac{1}{31}$	$\frac{1}{347}$	$\frac{1}{361}$
74	0,0740	0,002733	0,03276	0,002914	0,002809
	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{365}$	$\frac{1}{31}$	$\frac{1}{343}$	$\frac{1}{356}$
75	0,0750	0,002770	0,03320	0,002953	0,002847
	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{361}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{339}$	$\frac{1}{351}$
76	0,0760	0,002807	0,03365	0,002992	0,002885
	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{356}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{334}$	$\frac{1}{346}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
77	0,0770	0,002844	0,03409	0,003032	0,002923
	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{352}$	$\frac{1}{29}$	$\frac{1}{330}$	$\frac{1}{342}$
78	0,0780	0,002881	0,03454	0,003071	0,002961
	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{347}$	$\frac{1}{29}$	$\frac{1}{326}$	$\frac{1}{337}$
79	0,0790	0,002918	0,03500	0,003111	0,002999
	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{343}$	$\frac{1}{29}$	$\frac{1}{322}$	$\frac{1}{333}$
80	0,0800	0,002955	0,03546	0,003150	0,003037
	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{339}$	$\frac{1}{28}$	$\frac{1}{318}$	$\frac{1}{329}$
81	0,0810	0,002992	0,03590	0,003189	0,003075
	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{334}$	$\frac{1}{28}$	$\frac{1}{314}$	$\frac{1}{325}$
82	0,0820	0,003029	0,03634	0,003229	0,003113
	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{330}$	$\frac{1}{27}$	$\frac{1}{310}$	$\frac{1}{321}$
83	0,0830	0,003066	0,03678	0,003268	0,003151
	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{326}$	$\frac{1}{27}$	$\frac{1}{306}$	$\frac{1}{317}$
84	0,0840	0,003103	0,03722	0,003308	0,003189
	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{322}$	$\frac{1}{27}$	$\frac{1}{302}$	$\frac{1}{314}$
85	0,0850	0,003140	0,03766	0,003347	0,003227
	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{318}$	$\frac{1}{27}$	$\frac{1}{298}$	$\frac{1}{310}$
86	0,0860	0,003177	0,03810	0,003386	0,003265
	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{315}$	$\frac{1}{26}$	$\frac{1}{295}$	$\frac{1}{306}$
87	0,0870	0,003214	0,03855	0,003426	0,003303
	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{311}$	$\frac{1}{26}$	$\frac{1}{292}$	$\frac{1}{303}$
88	0,0880	0,003250	0,03900	0,003465	0,003341
	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{308}$	$\frac{1}{26}$	$\frac{1}{288}$	$\frac{1}{299}$
89	0,0890	0,003288	0,03945	0,003505	0,003379
	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{305}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{285}$	$\frac{1}{296}$
90	0,0900	0,003325	0,03990	0,003543	0,003416
	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{302}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{282}$	$\frac{1}{293}$
91	0,0910	0,003362	0,04034	0,003582	0,003454
	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{298}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{279}$	$\frac{1}{290}$
92	0,0920	0,003399	0,04078	0,003622	0,003492
	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{295}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{276}$	$\frac{1}{286}$
93	0,0930	0,003436	0,04122	0,003661	0,003530
	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{291}$	$\frac{1}{24}$	$\frac{1}{273}$	$\frac{1}{283}$
94	0,0940	0,003473	0,04166	0,003701	0,003568
	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{288}$	$\frac{1}{24}$	$\frac{1}{270}$	$\frac{1}{280}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
95	0,0950	0,003507	0,04210	0,003740	0,003606
	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{285}$	$\frac{1}{24}$	$\frac{1}{267}$	$\frac{1}{277}$
96	0,0960	0,003544	0,04254	0,003779	0,003644
	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{282}$	$\frac{1}{24}$	$\frac{1}{264}$	$\frac{1}{274}$
97	0,0970	0,003581	0,04300	0,003819	0,003682
	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{279}$	$\frac{1}{23}$	$\frac{1}{262}$	$\frac{1}{271}$
98	0,0980	0,003618	0,04344	0,003858	0,003720
	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{276}$	$\frac{1}{23}$	$\frac{1}{259}$	$\frac{1}{268}$
99	0,0990	0,003656	0,04388	0,003898	0,003758
	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{273}$	$\frac{1}{23}$	$\frac{1}{257}$	$\frac{1}{265}$
100	0,1000	0,003694	0,04433	0,003937	0,003796
	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{271}$	$\frac{1}{23}$	$\frac{1}{255}$	$\frac{1}{264}$
105	0,1050	0,003879	0,04674	0,004134	0,003986
	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{258}$	$\frac{1}{22}$	$\frac{1}{243}$	$\frac{1}{252}$
110	0,1100	0,004059	0,04870	0,004334	0,004176
	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{246}$	$\frac{1}{21}$	$\frac{1}{231}$	$\frac{1}{240}$
115	0,1150	0,004243	0,05090	0,004531	0,004366
	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{236}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{221}$	$\frac{1}{230}$
120	0,1200	0,004428	0,05280	0,004728	0,004555
	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{226}$	$\frac{1}{19}$	$\frac{1}{212}$	$\frac{1}{220}$
125	0,1250	0,004613	0,05500	0,004925	0,004745
	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{217}$	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{203}$	$\frac{1}{211}$
130	0,1300	0,004797	0.05720	0,005122	0,004935
	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{209}$	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{195}$	$\frac{1}{203}$
135	0,1350	0,004982	0,05940	0,005319	0,005125
	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{201}$	$\frac{1}{17}$	$\frac{1}{188}$	$\frac{1}{195}$
140	0,1400	0,005166	0,06160	0 005516	0,005314
	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{193}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{181}$	$\frac{1}{188}$
145	0,1450	0,005351	0,06380	0,005713	0,005504
	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{187}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{175}$	$\frac{1}{182}$
150	0,1500	0,005535	0,06600	0,005910	0,005694
	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{181}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{169}$	$\frac{1}{176}$
155	0,1550	0,005710	0,06820	0,006107	0,005884
	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{175}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{164}$	$\frac{1}{170}$
160	0,1600	0,005904	0,07040	0,006304	0,006074
	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{169}$	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{159}$	$\frac{1}{165}$

mmm.	Millimeter.	Pariser Zoll.	Pariser Linie.	Engl. Zoll.	Wiener Zoll.
165	0,1650	0,006089	0,07260	0,006501	0,006264
	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{163}$	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{154}$	$\frac{1}{160}$
170	0,1700	0,006275	0,07480	0,006698	0,006453
	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{158}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{150}$	$\frac{1}{155}$
175	0,1750	0,006458	0,07700	0,006895	0,006643
	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{154}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{145}$	$\frac{1}{151}$
180	0,1800	0,006642	0,07940	0,007092	0,006833
	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{151}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{141}$	$\frac{1}{148}$
185	0,1850	0,006827	0,08160	0,007289	0,007023
	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{147}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{137}$	$\frac{1}{143}$
190	0,1900	0,007011	0,08380	0,007486	0,007212
	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{143}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{133}$	$\frac{1}{139}$
195	0,1950	0,007195	0,08600	0,007683	0,007402
	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{139}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{130}$	$\frac{1}{135}$
200	0,2000	0,007388	0,08866	0,007874	0,007592
	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{136}$	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{127}$	$\frac{1}{132}$

120 Nicht selten macht es sich bei wissenschaftlichen Untersuchungen nöthig, die Oberfläche eines im Gesichtsfelde befindlichen Objectes zu messen. Da diese Oberfläche in der Regel sehr unregelmässig gestaltet ist, so hat das Bestimmen ihrer Grösse eigenthümliche Schwierigkeiten. Die verschiedenen Wege, auf denen man zum gewünschten Ziele gelangen kann, sind hier noch der Reihe nach zu betrachten.

In manchen Fällen lässt sich diese Messung dadurch ausführen, dass man in den Focus des obersten Oculares ein in Vierecke getheiltes Mikrometer bringt und die Zahl der Vierecke bestimmt, welche durch das Object gedeckt werden. Hat man durch das bekannte Verfahren die Grösse des einzelnen Vierecks bestimmt, so findet man die Gesammtoberfläche des Objectes durch eine einfache Multiplication.

Scheinbar zwar ganz einfach und bequem, ist die Ausmessung auf diese Weise dennoch sehr mühsam, ja manchmal ganz unausführbar, wenn die Oberfläche des Objectes einen etwas grössern Abschnitt des Gesichtsfeldes einnimmt und die Vierecke, wie es doch die Genauigkeit der Bestimmung erfordert, sehr klein sind, weil dann das Auge in Ermangelung grösserer Abtheilungen keinen Ruhepunkt findet und nicht im Stande ist, der Reihe nach jedes Viereck so zu sehen, dass einer Verwirrung im Zählen vorgebeugt wird.

Besser ist es daher, mittelst einer Camera lucida den Umriss des zu

messenden Körpers auf Papier oder auf eine Schiefertafel zu zeichnen und dann ein Stück durchsichtiges Papier oder eine Glastafel darauf zu legen, worauf mit Tinte oder mit einem Schreibdiamanten viereckige Felder gezogen sind. Da man jetzt dem Auge beim Zählen der Vierecke zu Hülfe kommt, so läuft man keine Gefahr, durch deren Menge verwirrt zu werden, zumal wenn man die grösseren Abtheilungen durch Zahlen oder sonst auf eine Art auf dem Papier oder auf der Glastafel angegeben hat.

Wahrscheinlich ist auch das Planimeter, welches der Ingenieur Caspar Wetli in Zürich erfunden und beschrieben hat (*Sitzungsberichte der Kais. Ak. in Wien.* 1850. I, S. 134), ein sehr geeignetes Instrument, womit man in einem solchen Falle die Oberfläche des mit der Camera lucida gezeichneten Bildes ausmessen kann. Doch kenne ich es nicht aus eigener Erfahrung, so wenig als das auf einem ähnlichen Principe (Messen durch Ordinaten und Coordinaten) beruhende, von L. Fick (*Zeitschr. f. rat. Med.* 1853. III, S. 173) ausgedachte und auf das Mikroskop angewandte Instrument. Dasselbe besteht der Hauptsache nach aus zwei beweglichen Armen, zwischen denen sich zwei einander kreuzende Spinnewebfäden befinden. Das Ocular hesteht aus zwei Röhren, die durch ein kurzes Interstitium getrennt werden, worin sich der Kreuzungspunkt, der im Brennpunkte des obersten Oculares liegt, an den Rändern des Objectes im Gesichtsfelde bewegen lässt. — Hierher gehört auch das Planimeter von Amsler (*Ueber die mechanische Bestimmung des Flächeninhaltes u. s. w.* Schaffhausen 1856), dessen auch bei C. Fick (*Medic. Physik.* 1856, S. 464) kurz Erwähnung geschieht.

Es giebt aber noch zwei andere Methoden, die auf einem kürzeren und mehr directen Wege das Ziel erreichen lassen.

Zuförderst ist das tragbare Sonnenmikroskop recht gut dazu zu benutzen. Bei schwachen Vergrösserungen kann auch Lampenlicht statt des Sonnenlichtes zur Beleuchtung des Objectes verwandt werden. Das Bild wird auf einem ebenfalls in Vierecke getheilten Papiere aufgefangen, das man vorübergehend mittelst Terpentinöl durchscheinend macht.

Zweitens können diejenigen, die bei ihrem Mikroskope einen achromatischen Beleuchtungsapparat haben, denselben anwenden, um das Bild einer entfernten Theilung in das Gesichtsfeld zu bringen und hier zugleich mit dem Objecte vergrössert wahrzunehmen. Von den verschiedenen Weisen, wie dies ausführbar ist, habe ich der folgenden den Vorzug gegeben.

Auf eine matt geschliffene Glasplatte von etwa 30 Quadratcentimetern werden mit Tinte eine Anzahl paralleler, einander durchkreuzender Linien gezogen, so dass die ganze Oberfläche in mindestens 300 bis 400 Vierecke von gleicher Grösse getheilt ist. Um das Zählen zu erleichtern, werden die grösseren Vierecke, welche nach der Länge und nach der Breite je 5,

zusammen also 25 kleinere befassen, durch Tüpfelchen an den Ecken angedeutet, d. h rund um die Kreuzungspunkte der Linien daselbst. Ausserdem kann man noch Zahlen an den Seiten des Viereckes anbringen. Um die Platte und die darauf gezeichnete Theilung zu schonen, bedeckt man sie mit einer anderen durchsichtigen Glasplatte, und klebt dann die Ränder mit Papierstreifen dicht auf einander. Die Platte ist nun für alle Zeiten zur Benutzung fertig; sie kann auf einen besonderen Fuss gestellt werden, oder, wie es in meinem Arbeitszimmer der Fall ist, an ein Fenster kommen. Kommt ein Mikroskop in einiger Entfernung gerade davor und dreht man den ebenen Spiegel dergestalt, dass das Licht durch die getheilte Glasplatte hindurch darauf fällt und ins Mikroskop tritt, so wird, falls unter dem Objecttische eine achromatische Linse oder ein achromatisches Linsensystem befindlich ist, darüber ein Bild jener Theilung entstehen, das man zugleich mit dem Objecte im Gesichtsfelde sieht, sobald die Linse oder das Linsensystem in die nöthige Entfernung vom Objecttische gebracht wird. Ich benutze dazu gewöhnlich eine Linse von 13,5 Millimeter Brennweite, die zu dem Beleuchtungsapparate gehört, dessen Beschreibung im dritten Bande folgen wird. Das Bild der Theilungen kann man aber dadurch verschieden gross machen, dass man schwächere oder stärkere Linsen oder Linsensysteme davor stellt, oder dass man das Mikroskop der eingetheilten Glasplatte mehr weniger genähert aufstellt. Die wahre Grösse der Vierecke muss übrigens vorher eben so bestimmt werden, als wenn ein Glasmikrometer ins Ocular genommen wird. Hat man diese Bestimmung aber für eine oder für mehrere unveränderliche Entfernungen und für die nämlichen Linsen ausgeführt, so können die so gewonnenen Resultate für alle folgenden Messungen benutzt werden.

Es ist klar, dass dieses Princip noch für manche andere Zwecke Anwendung finden kann. Zur Vornahme von Längs-, Flächen- oder Winkelmessungen, oder um Objecte in einem bestimmten Raume abzuzählen, oder auch um genaue Zeichnungen anzufertigen, kann das Gesichtsfeld solchergestalt ganz nach Willkür in Ebenen von verschiedener Grösse abgetheilt werden.

121 Durch das Mikroskop kann auch der verticale Durchmesser der durchscheinenden Objecte im Gesichtsfelde, d. h. die **Dicke** der Objecte gefunden werden, und zwar dadurch, dass man ermittelt, welche Strecke das mit dem Objective versehene Mikroskoprohr durchlaufen muss, wenn abwechselnd die obere und die untere Fläche des nämlichen Objectes scharf wahrgenommen werden soll. Das ist auf zweierlei Weisen ausführbar:

a. Der Knopf der Schraube, welche zur feinen Einstellung dient, hat eine Theilung, und aus der Grösse des ganzen Schraubenumganges wird der Werth der einzelnen Abtheilungen bestimmt.

Digitized by Google

b. Ein zweites horizontales Mikroskop, mit einem Mikrometer im Oculare, wird nach Art des Kathetometers dazu benutzt, die verschiedene Höhe des Mikroskoprohres bei jenen beiden Stellungen zu messen.

Das zuerst genannte Verfahren ist schon seit längerer Zeit gebräuchlich. Die Schärfe desselben ist vor Allem bedingt durch die Feinheit der umgedrehten Schraube. Zu dem Ende und behufs sehr scharfer Einstellung haben manche Mikroskope, namentlich Englische, eine besondere Mikrometerschraube mit gleich langsamer Bewegung als bei den Objecttisch-Schraubenmikrometern, womit äusserst geringe Differenzen in der Höhenstellung des Mikroskoprohres ermittelt werden können. Die auf dem Continente gefertigten Mikroskope besitzen meistens etwas gröbere Schrauben für feine Einstellung. Sind indessen die Schrauben nur sonst verhältnissmässig gut gearbeitet, so ist dieser Unvollkommenheit dadurch abzuhelfen, dass man eine grössere kreisrunde Metallplatte, worauf auch mehr Theilstriche eingeschnitten werden können, am Knopfe befestigt. Hat der Knopf selbst eine gewisse Grösse, ist er eben und mit einem gekerbten Rande versehen, so kann man auch seine Kerben als Theilstriche benutzen, und um das Zählen zu erleichtern, kann noch bei jeder fünften und jeder zehnten Kerbe auf der ebenen Fläche der Schraube erst ein kleinerer und dann ein grösserer Strich durch ein spitzes Instrument eingekratzt werden. Als Zeiger dient eine feststehende Spitze auf der einen oder der anderen Seite der Metallplatte oder des Knopfes. Der Grössenwerth dieser Theilungen bestimmt sich ganz eben so, wie bei einem Objecttisch-Schraubenmikrometer, und die Verkürzung durch den todten Gang der Schraube verhütet man auf die gleiche Weise, indem man sie die nämliche Strecke zurück schraubt. Es hält nicht schwer, damit Differenzen von $^1/_{500}$ bis $^1/_{1000}$ Millimeter oder selbst noch weniger in der Höhenstellung des Mikroskoprohres festzustellen.

Das zweitgenannte Verfahren ist von Naegeli und Schwendener (*Das Mikroskop*, S. 177 und 235) anempfohlen worden. Am Mikroskoprohre wird ein feiner Ritz angebracht, dessen Höhe man durch ein zweites horizontal gestelltes Mikroskop bei schwacher Vergrösserung misst. Dazu kann ein Glasmikrometer im Oculare oder ein Ocular-Schraubenmikrometer benutzt werden, wobei natürlich alle vorhin berührten Vorsichtsmaassregeln in Anwendung kommen müssen. Sollten bei stärkerer Vergrösserung noch sehr geringe Höhenunterschiede ermittelt werden, so könnte man am verticalen Mikroskoprohre einander gegenüber zwei horizontale Spalten anbringen, wovon die eine durch ein Glastäfelchen geschlossen wird, worauf sich als Merkzeichen ein feiner Strich befindet. Diese Spalten müssten aber natürlich wieder bedeckt werden können, um das Licht abzuhalten, wenn man durchs Mikroskop sehen will. Durch eine so complicirte Einrichtung wird man allerdings im Stande sein, die geringsten Differenzen in der Höhenstellung des Mikroskoprohres mit

derselben Genauigkeit zu erfassen, die man bei Messungen in der Horizontalebene erreicht, und mit der Zeit mag sie vielleicht zu bestimmten Zwecken vortheilhafte Anwendung finden können. Handelt es sich aber blos darum, mittelst des Mikroskopes Höhendifferenzen der Objecte im Gesichtsfelde ausfindig zu machen, so ist diese Einrichtung ganz überflüssig und die erstgenannte einfachere Methode mehr denn ausreichend.

In solchen Fällen lässt sich aber lange nicht jener Grad von Genauigkeit erreichen, wie bei der directen Messung des Durchmessers der Objecte durchs Mikrometer nach einer der oben beschriebenen Methoden. Die Begrenzungsbeobachtungen beruhen hier nicht darauf, dass die Ränder des Bildes mit einem anderen im Gesichtsfelde befindlichen Bilde in Berührung kommen, sondern lediglich auf einer möglichst scharfen Einstellung, wobei successiv die in zwei Ebenen gelegenen Objecte oder Theile des nämlichen Objectes ganz scharf gesehen werden, mithin kommen hier nicht einzelne Beobachtungen in Betracht, sondern ein aus der Vergleichung zweier auf einander folgender Beobachtungen abgeleitetes Urtheil kommt hier zur Geltung. Dazu gesellt sich noch ein anderer Umstand. Von einer in bestimmter Entfernung unter dem Objective befindlichen Oberfläche entsteht zwar ein Bild in bestimmter Entfernung oberhalb des Oculares, so dass alle Theile des Bildes, die mit ganz gleicher Schärfe auftreten, wirklich in einer Fläche ohne Dicke gelegen sind; gleichwohl findet dies in der Wirklichkeit nicht statt, weil die Bildbildung auf der Netzhaut erfolgt, wo doch immer mehr oder weniger das Accommodationsvermögen des Auges mit ins Spiel kommt. Beim gewöhnlichen Beobachten lässt der Geübte dieses Accommodationsvermögen freilich ganz in Ruhe, aber beim scharfen Beobachten, wozu auch der Geübteste in diesem Falle unwillkürlich greift, hört das Auge auf ein blosser auffangender Schirm zu sein, es nimmt vielmehr thätigen Antheil an der Beobachtung, und dadurch ändert sich auch in geringem Grade der Abstand, worin das Objectiv vom Objecte befindlich sein muss, wenn es mit Schärfe gesehen werden soll.

Ich habe durch einige Versuche festzustellen gesucht, auf welche Genauigkeit solche Bestimmungen Anspruch machen können, und dabei ein Nobert'sches Probetäfelchen als Object benutzt. Zu jeder Beobachtung wurde das Objectiv durch ein Paar Drehungen der Schraube zuerst vom Probetäfelchen entfernt, dann aber durch Drehung in entgegengesetzter Richtung demselben wieder so weit genähert, bis die Striche in der letzten Gruppe, die mit dem verwendeten Objective bei centrischer Beleuchtung noch erkennbar waren, sich deutlich darstellten. Jeder Schraubenumgang des benutzten Oberhäuser'schen Mikroskopes mit Hufeisenstativ repräsentirte $0{,}492^{mm}$. Auf einer besonderen Platte am Knopfe waren 100 Theilstriche angebracht, so dass noch ein Zehntheil einer einzelnen Abtheilung, also $0{,}492^{mmm}$ oder $^1/_{2033}$ Millimeter sich abschätzen liess. Die verwendeten Objective waren von Amici und von

Digitized by Google

Hartnack. Für jede Vergrösserung wurden 5 Messungen nach einander vorgenommen:

Vergrösserung.	Maximum der Differenzen.		
60	2	Abtheilungen	$= \frac{1}{102}$ mm
237	0,5	„	$= \frac{1}{407}$ „
683	0,5	„	$= \frac{1}{407}$ „
1120	0,6	„	$= \frac{1}{305}$ „
1540	0,4	„	$= \frac{1}{508}$ „

Man ersieht hieraus, dass die Genanigkeit der Bestimmung gar nicht regelmässig mit der Vergrösserung zunimmt. Nur die schwächste Vergrösserung steht in dieser Beziehung den anderen entschieden nach, diese aber unterscheiden sich so wenig von einander, dass man wohl behaupten darf, es sei ganz einerlei, ob bei derartigen Messungen eine 250malige oder eine 1500malige Vergrösserung in Anwendung kommt. Manchmal scheinen sogar sehr starke Vergrösserungen nachtheilig zu sein, wahrscheinlich deshalb, weil dann das Accommodationsvermögen zu sehr in Anspruch genommen wird.

Im Weiteren ersieht man aus diesen Messungen, dass Fehler von mindestens $\frac{1}{500}$ Millimeter dabei schwer zu vermeiden sind. Meistens wird aber der Fehler noch weit grösser ausfallen, weil beide Oberflächen eines Objectes nur selten so scharfe Merkzeichen darbieten werden, als man an den Strichen des Nobert'schen Probetäfelchens hat. Bei Objecten mit einer Dicke unter $\frac{1}{200}$ Millimeter ist somit diese Methode nicht anzuwenden, und selbst bei weit dickeren kann der wahrscheinliche Fehler doch noch ein grosser Bruchtheil des erhaltenen Resultates sein. Ihre Anwendbarkeit erfährt mithin bedeutende Einschränkungen; doch ist sie recht gut zulässig, wenn bestimmte Theile oder Schichten durch andere hindnrchschimmern und deren Abstände auf andere Weise sich nicht messen lassen.

Man darf aber dabei einen Punkt nicht ausser Acht lassen, worauf Welcker zuerst aufmerksam gemacht hat. Hat das Mikroskop ein gewöhnliches Objectiv und liegt das Object, statt von Luft umgeben zu sein, in Wasser oder in einer anderen Flüssigkeit, oder ist dasselbe in eine in dünnen Lagen durchscheinende Masse, etwa in Knochen- oder Zahnsubstanz eingebettet, so sieht man es nicht an seiner eigentlichen Stelle, sondern es liegt höher, und zwar um so höher, je stärker das Brechungsvermögen des umgebenden Medinms ist. Der Uebertritt der Strahlen aus einem stärker brechenden Medium in die Luft hat hier die nämliche Folge, die wir anch mit blossem Auge wahrnehmen. Ich will nur an den bekannten Versuch erinnern, wo man ein Geldstück auf den Boden eines Gefässes legt und sich so stellt, dass der Rand des Gefässes dem Auge gerade das Geldstück verbirgt; wird dann Wasser hinein gegossen, so

kommt das Geldstück wiederum zum Vorschein. Die scheinbare Erhebnng wächst um so mehr, je tiefer das Object liegt, wobei die Strahlen durch eine um so dickere Wasserschicht gehen müssen, bevor sie die Lnft erreichen. Alle unter solchen Verhältnissen gefundenen Dicken- oder Höhenunterschiede werden daher zu klein ausfallen. Die Grösse des begangenen Fehlers und somit auch der an der Messung vorzunehmenden Correction ist nicht genau zu berechnen; denn man müsste schon vorher den Höhenunterschied beider Punkte im Verhältnisse zur Grenzfläche, an welcher die Strahlen wiederum in die Luft treten, kennen gelernt haben, also gerade das noch Unbekannte. Wir sahen aber auch vorhin, dass die ganze Methode nicht auf grosse Genauigkeit Ansprnch macht, daher man sich auch mit einer Correction begnügen kann, die den begangenen Fehler nur annähernd beseitigt.

Welcker hat übrigens die erforderliche Correction auf folgende Weise zu ermitteln gesucht. Zwei dünne Streifchen Glas, die nicht ganz 1 Millimeter dick sind, wurden ein Paar Millimeter von einander auf ein Objecttäfelchen aufgeklebt und darüber kam ein dünnes Deckplättchen. Durch genaue Messung wurde die darunter befindliche Luftschicht $0{,}9873^{mm}$ dick gefunden. An der Oberfläche des Objecttäfelchens und gerade darüber an der Unterfläche des Deckplättchens wurde mit einem Diamanten ein feiner Strich gemacht. Nun erfüllte er den nämlichen Raum der Reihe nach mit verschiedenen Flüssigkeiten und bestimmte den scheinbaren Höhenunterschied der beiden Merkzeichen im Vergleiche zur wahren Höhe in der Luft. So berechnete Welcker eine Tabelle, worin für eine Anzahl Flüssigkeiten die wahre Dicke angegeben wird, wenn die scheinbare Dicke = 100 ist. Ich entnehme daraus folgende Zahlen:

Luft	100
Wasser	138
Blutserum	139
Hühnereiweiss	140
Humor vitreus vom Menschen	148
Glycerine	148
Terpentinöl	151
Rapsöl	152,5
Canadabalsam	154,5
Anisöl	158

Auf ganz ähnliche Weise, nämlich durch Vergleichung der scheinbaren Dicke oder Höhe dünner Lamellen fester Substanzen mit der wirklichen Dicke einer Luftschicht von gleicher Höhe, erhielt Welcker noch folgende Werthe:

Kronglas	155 — 156
Trocknes Eiweiss	165
Trockne Gelatine	170
Knochensubstanz	172
Zahnsubstanz	175
Email	179

Die allgemeine, für die gewöhnlichen Beobachtungsgrenzen sich bewährende Formel der Verkleinerung ist nach Naegeli und Schwendener $1 - \frac{1}{n}$, wo n den Brechungsindex ausdrückt. Wasser, dessen Brechungsindex ungefähr $^4/_3$ ist, verringert somit den Höhennnterschied um $1 - \frac{1}{1,33} = 0,248$, oder um ungefähr $^1/_4$. Um demnach aus dem scheinbaren Höhenunterschiede zweier unter Wasser befindlicher Punkte den wirklichen Höhenunterschied zu berechnen, wird der durch Messung gefundene scheinbare Höhenunterschied mit $^4/_3$ oder 1,33 (genauer 1,336) multiplicirt.

Einfacher und doch noch mit hinreichender Genauigkeit für praktische Zwecke lässt sich die Sache auch in folgender Weise fassen. Ist D der wahre und d der scheinbare Höhenunterschied, und nennen wir den Brechungsindex der Luft 1, jenen des betreffenden Mediums n, so verhält sich $D : d = n : 1$, und D ist $= d.n$, das heisst: Multiplicirt man den gefundenen scheinbaren Dicken- oder Höhenunterschied mit dem Brechungsindex des Mediums, worin die beiden Punkte befindlich sind, deren verticaler Abstand ermittelt werden soll, so giebt dieses Product den wahren Dicken- oder Höhenunterschied. Die nach dieser Formel erhaltenen Werthe fallen zwar etwas kleiner aus, als wenn die Welcker'schen Zahlen zu Grunde gelegt werden. Es wird aber nur selten vorkommen, dass man Dicken von etwa 1 Millimeter zu messen hat.

Wir besitzen aber auch noch ein einfaches Hülfsmittel, welches in den meisten Fällen jede Correction überflüssig macht: man braucht nur die Luftschicht zwischen den Deckplättchen und dem Objective durch Wasser zu ersetzen. Deshalb verdienen Immersionsapparate vor anderen den Vorzug für derartige Messungen. Sind aber auch die Objective nicht zur Immersion eingerichtet, so kann man nichtsdestoweniger manchmal noch von diesem Hülfsmittel Gebrauch machen, wobei das Bild allerdings etwas an Schärfe einbüsst. Befindet sich das Object in einer organischen Flüssigkeit, so differirt deren Brechungsvermögen meistens so wenig von jenem des Wassers, dass der dadurch bedingte Fehler unbedenklich ausser Acht gelassen werden darf. Ist die Differenz freilich eine ansehnliche, wie etwa zwischen Canadabalsam und Wasser, dann muss eine Correction vorgenommen werden. Ist n der Brechungsindex des Mediums,

worin das Object liegt, n' der Brechungsindex der Flüssigkeit, in welche die Unterfläche der Linse taucht, so verhält sich $D : d = n : n'$, oder $D = \frac{dn}{n'}$, das heisst: den gefundenen scheinbaren Höhenunterschied multiplicirt man mit dem Quotienten aus beiden Brechungsindices, also bei Canadabalsam und Wasser mit $\frac{1,504}{1,336} = 1,13$.

Digitized by Google

Sechster Abschnitt.

Das Zeichnen mikroskopischer Gegenstände.

Von jedem, der sich naturhistorischen und anatomischen Untersuchungen hingiebt, ist zu verlangen, dass er das Wahrgenommene in einer getreuen Abbildung wiederzugeben im Stande sei. Keine Beschreibung, wie ausführlich und genau dieselbe auch sein mag, kann es mit der einfachsten Zeichnung aufnehmen, wenn es darauf ankommt, bei einem Anderen die nämliche Vorstellung zu erwecken, welche der Beobachter beim Betrachten eines Objectes sich aneignete. Gute Abbildungen sind auch einer gemeinsamen Sprache vergleichbar; jeder versteht sie, welchem Lande er auch angehören mag, wenn er nur dieser Art von Untersuchungen nicht durchaus fremd ist. 122

Manchmal kann der Naturforscher die Anfertigung von Abbildungen allerdings Anderen überlassen und seine Zeit nützlicher auf andere Weise verwenden; aber er muss doch wenigstens im Stande sein, die Abbildung selbst anzufertigen, wenn er deren Ausführung gehörig überwachen will. Denn wird sie einem Zeichner von Profession anvertraut, so kann sie in künstlerischer Beziehung vielleicht ganz vortrefflich ausfallen, und dennoch entspricht sie oftmals sehr mangelhaft ihrem eigentlichen Zwecke, nämlich so viel möglich ein treues Bild des Wahrgenommenen zu geben.

Dazu kommt noch, dass es kein besseres Mittel giebt, sich zu einem guten Beobachter auszubilden, als wenn man sich daran gewöhnt, sobald Zeit und Gelegenheit sich dazu darbieten, während der Beobachtung selbst vom Beobachteten Abbildungen zu nehmen. Die Erfahrung wird jeder machen, dass, wenn man dieses thut, die Aufmerksamkeit auf manche oftmals wichtige Einzelnheiten hingelenkt wird, die ausserdem entgangen sein würden.

Digitized by Google

Das Gesagte gilt insbesondere von den mikroskopischen Beobachtungen. Man könnte vielleicht meinen, dass es gerade bei diesen vorzuziehen wäre, wenn ein anderer, der nicht ans Mikroskop gewöhnt ist, die Abbildungen anfertigt, weil ein ganz unbefangenes Individuum weniger der Gefahr ausgesetzt ist, die Gegenstände anders zu zeichnen, als sie wirklich unterm Mikroskope sich zeigen. Das ist aber ein Irrthum. Das mikroskopische Sehen, wie in einem früheren Kapitel dargethan wurde, ist in mehr denn Einer Hinsicht verschieden vom gewöhnlichen Sehen; man muss es lernen, und deshalb kann nur Derjenige brauchbare mikroskopische Zeichnungen liefern, der selbst ein guter mikroskopischer Beobachter ist.

Man braucht sich aber auch nicht vorzustellen, dass dazu eine sehr grosse Kunstfertigkeit erfordert wird, die man sich nur durch jahrelange Uebung und unter gehöriger Anleitung zu eigen machen könne. Es wird nur das gefordert, was jeder mikroskopische Beobachter an und für sich schon besitzen muss: ein gutes Auge, eine feste Hand, Geduld. Ausserdem ist nichts nöthig, als Papier, ein Paar Bleistifte von ungleicher Härte und ein Stückchen Kautschuk.

Um jedoch den, der sich noch wenig darauf gelegt hat, bei seinen ersten Schritten zu unterstützen, sollen ganz kurz die Haupterfordernisse einer mikroskopischen Zeichnung betrachtet werden, und werde ich zugleich einiger Hülfsmittel bei ihrer Anfertigung gedenken.

123 Die Haupterfordernisse sind Treue und Deutlichkeit; Zierlichkeit kann höchstens als gute Nebeneigenschaft gelten, der indess die beiden ersteren niemals geopfert werden dürfen. Es wird aber näher auseinander zu setzen sein, was hier unter Treue und Deutlichkeit zu verstehen ist.

Man hat wohl angenommen, die besten Zeichnungen mikroskopischer Objecte müssten immer jene sein, worin dieselben gerade so dargestellt sind, wie sie sich im Gesichtsfelde zeigen, ohne dass in der Abbildung etwas hinzugethan oder weggelassen wird. Deshalb hat man auch angefangen, die Photographie für solche Zeichnungen zu verwenden. Die Hoffnung indessen, der man sich vielleicht hingegeben hat, dass durch dieses Hülfsmittel alle mit der Hand ausgeführten Zeichnungen entbehrlich würden, und dass diese photographischen Bilder hinsichtlich der Genauigkeit und Treue den Vorrang hätten, weil die Subjectivität des Beobachters dabei ganz ausgeschlossen ist, muss als eine thörichte betrachtet werden. Freilich hat man auf einem photographirten Blatte die Bilder der Objecte genau so, wie sie sich im Augenblicke der Aufnahme im Gesichtsfelde würden dargestellt haben, wenn man dasselbe hätte sehen können; allein gerade durch diese übermässige Treue sind solche Bilder nicht allein undeutlich, sondern auch unwahr. Erstlich werden alle gar nicht

eigentlich zum Objecte gehörige, sondern nur zufällig anwesende Theile gleichzeitig mit abgebildet und veranlassen einen verwirrenden Eindruck beim Betrachten: eine solche Abbildung muss daher studirt werden, um das, was nicht Bestandtheil des Bildes ist, in Gedanken von demselben abzuziehen. Zweitens ist die Abbildung zum Theil auch unwahr; denn sie giebt nur von solchen Objecten oder Theilen derselben, die sich im Augenblicke der Aufnahme gerade in der richtigen Entfernung vom Objective befanden, ein getreues und wahres Bild, und alle übrigen, die sich etwas entfernter oder etwas näher befanden, haben Diffusionsbilder erzeugt, welche die wahren Bilder an Grösse übertreffen, aber der scharfen Umrisse entbehren.

Hieraus ist schon zu entnehmen, dass nur in wenigen Fällen alles, was sich bei einer bestimmten Stellung des Mikroskopes im Gesichtsfelde zeigt, auch in die Zeichnung aufgenommen werden darf, und dass, ungeachtet des scheinbaren Widerspruches, eine vollkommen getreue Abbildung deshalb noch nicht immer eine vollkommen wahre ist.

Eine Zeichnung soll eine Beobachtung wiedergeben, sie muss deshalb auch wirklich das Resultat der Beobachtung sein. Es muss demjenigen, welcher die Zeichnung betrachtet, die Mühe erspart werden, die während der Beobachtung selbst zu überwinden war, und zwar um so mehr, weil jetzt nicht mehr die Gelegenheit vorhanden ist, durch veränderten Abstand des Objectes und durch andere dem Beobachter sich darbietende Hülfsmittel die wahre Bedeutung dessen, was in der Zeichnung niedergelegt ist, aufzudecken. Deshalb ist es nicht blos gestattet, sondern es ist selbst geboten, dass in einer Zeichnung alles wegbleibt, was nicht zu dem eigentlich abzubildenden Objecte gehört. Das bezieht sich nicht blos auf alle nur zufällig vorhandenen Theilchen, die mit dem Objecte der Beobachtung gar nichts zu thun haben, z. B. kleine in der Luft schwebende Staubtheilchen, welche darauf fielen, sondern auch auf solche Theile des Objectes selbst, durch deren Aufnahme die Abbildung nur an Deutlichkeit verlieren würde. An Durchschnitten von Pflanzengeweben z. B. sieht man oftmals mehrere Zellenlagen, die durch einander schimmern, von denen aber nur die oberste mit Klarheit und Schärfe wahrzunehmen ist. In einem solchen Falle darf man sich unbedenklich auf die Abbildung dieser einen Lage beschränken, da die Aufnahme jener tieferen Lagen nur zur Verwirrung führen kann.

Ebenso verhält es sich in einem anderen Punkte, nämlich mit der Darstellung der körperlichen Form in den Zeichnungen mikroskopischer Objecte. Beim Betrachten durchs Mikroskop sieht man nur die Flächen mit Bestimmtheit; die Körperlichkeit eines Objectes lässt sich niemals in dem nämlichen Augenblicke in seiner Totalität deutlich erkennen, sondern nur dadurch, dass man successiv die Stellung des Objectives ändert. Es wäre aber ganz ungereimt, wollte man Körperchen, bei deren Abbildung

Digitized by Google

es hauptsächlich auf Darstellung der körperlichen Form ankommt, wie etwa Krystalle, gerade so zeichnen, wie sie im Mikroskope erscheinen, wo nur eine der Flächen scharfe Umrisse hat, die übrigen aber wie durch Nebel hindurchschimmern. Sobald daher in einer Abbildung die körperliche Form als Ergebniss der Beobachtung wiedergegeben werden soll, ist es ganz zulässig, diese wiederzugeben, wenn auch auf diese Weise nicht ein einzelner durchs Mikroskop erhaltener Eindruck zur Ansicht kommt, vielmehr viele successive Eindrücke zu einem Ganzen vereinigt werden.

124 Da nach der soeben aufgestellten Regel jede Abbildung das Resultat der Beobachtung sein soll, so wird dieselbe niemals auf vollkommene Wahrheit Anspruch machen können, so wenig als die Beobachtung selbst. Die Beobachtung wie die Abbildung können sich der Wahrheit blos nähern, und derselben möglichst nahe zu kommen muss das Streben eines Jeden sein, der seine Untersuchungen für die Wissenschaft verwerthen will. Allein auch hierbei kann man sich, ohne der Wahrheit zu nahe zu treten, noch innerhalb gewisser Grenzen bewegen; dazu berechtigt uns die Betrachtung der organischen Natur selbst. Beim Zeichnen eines Blutgefässnetzes z. B. ist es ganz gleichgültig, ob wir einem Aestchen, das in der Wirklichkeit unter einem Winkel von 50° mit einem anderen Aestchen verbunden ist, eine Richtung geben, dass der Winkel 51° beträgt; denn es giebt Tausende von Aestchen in dem nämlichen Netze, wo der Unterschied eben so gross oder noch grösser ist. Es giebt aber auch andere Fälle, wo die getreueste Befolgung bis in die kleinsten Einzelnbeiten erfordert wird. Hielte man sich z. B. bei der Darstellung von Krystallen in gleich geringem Maasse an die wirkliche Grösse ihrer Ecken, wie bei der Zeichnung der Blutgefässnetzverästelungen, so würden ohne Zweifel sehr unvollkommene Abbildungen herauskommen.

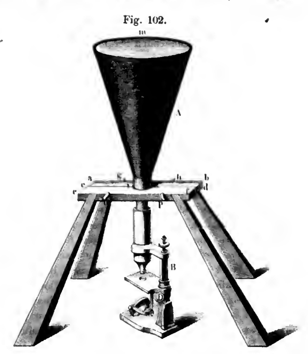
Namentlich beim Anfertigen solcher Zeichnungen, bei denen es auf grosse Genauigkeit ankommt, lassen sich die verschiedenen Hülfsmittel benutzen, deren beim Zeichnen mikroskopischer Objecte gedacht worden ist. Nur überschätze man ihre Beihülfe nicht. Der ganz Ungeübte wird doch durch kein solches Mittel in den Stand gesetzt, eine gut ausgeführte mikroskopische Zeichnung anzufertigen, wogegen sie der bereits Geübte recht vortheilhaft für genaue Skizzen verwenden kann, die er dann später ausführt.

Die Mehrzahl dieser Mittel (die verschiedenen Arten der Camera lucida, das Sömmerring'sche Spiegelchen, das Oberhäuser'sche Prisma u. s. w.) sind schon früher (I. §. 179) beschrieben worden. Sie eignen sich alle ziemlich gleich gut für diesen Zweck und verlangen blos, dass das Bild auf eine schwach erhellte Oberfläche projicirt wird, auf der man dann seine Ränder nachzeichnen kann. Am besten benutzt man dazu, wie schon erwähnt, eine gewöhnliche Schiefertafel, auf der mit einem Griffel recht fein gezeichnet werden kann. Schwarzes Schiefer-

papier ist wegen der stärkeren Rauhigkeit zwar nicht ganz so gut; es hat aber den Vorzug, dass die mit einem Griffel gemachte Zeichnung durch eine Leimlösung darauf befestigt werden kann, und deshalb benutze ich dasselbe vorzugsweise.

In mehrfacher Beziehung hat der in Fig. 102 abgebildete Apparat, 125
dessen ich mich schon seit vielen Jahren bediene, vor diesen verschiede-

Fig. 102.



Harting's tragbares Sonnenmikroskop.

nen Projectionsmitteln den Vorzug; derselbe ist aber nichts anderes als ein tragbares Sonnenmikroskop. Daran ist *A* ein oben und unten offenes Rohr, das nach unten kegelförmig zuläuft und dort cylindrisch endigt. Innen wie aussen ist es schwarz angestrichen. Es kann eine verschiedene Grösse haben; das meinige ist 25 Centimeter hoch und oben 16 Centimeter weit. Das obere Ende hat einen Rand, worauf eine matt geschliffene Scheibe von Spiegelglas (*m*) passt, die auch mit einer durchsichtigen gleichgrossen Glasplatte vertauscht werden kann. Bringt man ein solches Rohr über ein Mikroskop, ein einfaches oder ein zusammengesetztes (*B*), dessen Beleuchtungsapparat aus einem Hohlspiegel besteht, der sich auf- und niederbewegen lässt, oder noch besser aus einem ebenen

Digitized by Google

Spiegel mit einer darüber befindlichen aufwärts und abwärts beweglichen Linse, so dass, wenn der Spiegel das Sonnenlicht auffängt, auf das Object ein convergirendes Strahlenbündel fällt, wodurch dasselbe stark beleuchtet wird, so wird auf dem matten Glase *m* ein Bild jedweden Gegenstandes entstehen, der sich in der gehörigen Entfernung vom Objectivsysteme oder, bei dem einfachen Mikroskope, von der vergrössernden Linse befindet.

Soll aber das Bild gut gesehen werden, dann muss man dafür sorgen, dass alle Lichtstrahlen ausgeschlossen bleiben, die nicht vom Spiegel kommen. Um die von unten kommenden Strahlen abzuhalten, muss der untere cylindrische Theil des Rohres eine solche Weite haben, dass, wenn er über das Ocular eines zusammengesetzten Mikroskopes kommt, zwischen beiden nur ein Raum von zwei bis drei Millimetern übrig bleibt, und ausserdem muss an der Stelle, wo der kegelförmige Theil des Rohres anfängt, ein Ring angebracht sein, dessen Oeffnung nur wenig grösser ist als jene des Oculares. Benutzt man zu gleichem Zwecke ein einfaches Mikroskop, dann kommt auf den Rand des Röhrchens, worin die Linse steckt, ein kurzes hölzernes Futteral, und um dieses kommt dann der cylindrische Theil des Rohres, gleichwie beim Oculare des zusammengesetzten Mikroskopes.

Um die von oben kommenden Lichtstrahlen abzuhalten, ist weiter nichts nöthig, als dass man einen aus festem schwarzen Zeuge oder aus Seide verfertigten und an einem Ringe befestigten Schirm benutzt, der auf den Kopf genommen wird. Hat man keine zu starke Vergrösserung, so genügt schon ein Stück geschwärzte Pappe, dessen Breite etwa zwei Drittel vom obersten Umfange der Röhre beträgt, die Höhe aber 25 bis 30 Centimeter. Ist sie gebogen, so dass sie in den oberen Rand des Rohres passt und auf dem matten Glase ruht, so kann sie in den meisten Fällen, wo der Apparat zum Zeichnen benutzt wird, die Stelle des stets etwas unbequemen Schirmes ersetzen.

Da es nun aber zum Anfertigen von Zeichnungen erforderlich ist, dass das Rohr ganz fest steht und beide Hände frei sind, so wird das Rohr in den in der Abbildung auch mit dargestellten kleinen Tisch eingesenkt. Dieser Tisch von Eichenholz besteht aus zwei Hälften, welche nur durch die Schrauben *og* und *ph* zusammengehalten werden. Die Linie *cd* bezeichnet die Grenze dieser beiden Hälften. Sind sie vereinigt, dann hat der Tisch in der Mitte eine runde Oeffnung *ik*, in welche der cylindrische Theil des Rohres passt, aber erst dann, wenn die beiden Schrauben *og* und *ph* ganz feststehen und die Röhre nicht mehr schwankt. Um die Unbeweglichkeit des Ganzen mehr zu sichern, sind die vier Füsse des kleinen Tisches in auswärts verschränkter Richtung angebracht. Seine Höhe ist natürlicher Weise ganz abhängig von jener des benutzten Mikroskopes. Viele zusammengesetzte Mikroskope sind schon an und für

sich zu hoch, als dass sie noch eine Röhre von der genannten Länge tragen könnten. Man kann dann die Röhre kürzer machen, wodurch aber eben sowohl das Gesichtsfeld als die Vergrösserung einen geringeren Werth bekommen. Besser ist es daher, man stellt ein solches Mikroskop mit dem gesammten Apparate auf einen Tisch mit niedrigeren Beinen als gewöhnlich, so dass der oberste Theil der Röhre mit der Glasplatte sich in der entsprechenden Höhe befindet.

Will man diesen Apparat beim Anfertigen einer Zeichnung oder eines Umrisses benutzen, so kommt auf die Glasplatte ein durchsichtiges Stück Papier, etwa gewöhnliches Velinpostpapier; darauf wird Terpentinöl gegossen und das Stück Papier auf der Glasplatte umgedreht, so dass beide Oberflächen desselben vom Oele durchzogen werden. Bei gehöriger Stellung des Spiegels und der Beleuchtungslinse, wenn zugleich das Object in der gehörigen Entfernung ist und die äusseren Strahlen gehörig abgehalten werden, zeigt sich dann ein Bild des Objectes auf dem Papiere, das man mit der feinen Spitze eines Bleistiftes umreisst. So lange das Papier noch mit Oel durchzogen ist, treten die Bleistiftstriche undeutlich hervor; sie werden aber deutlich nach der Verflüchtigung des Oeles.

Soll eine solche Skizze zu einer ausgeführteren Zeichnung benutzt werden, so kommt sie auf das dazu bestimmte Papier, und mit einer feinen, jedoch nicht allzu scharfen Spitze (ein fein zugespitzter Schieferstift ist dazu passend) werden alle Bleistiftstriche des unterliegenden Papieres durchgezeichnet.

Statt des mit Terpentinöl angefeuchteten Papieres kann man auch Papier nehmen, das schon vorher durchsichtig gemacht wurde, nämlich sogenanntes Pflanzenpapier, und man kann sich auch selbst ein solches zubereiten mit Hülfe gekochten Leinöls oder eines Mastixfirnisses.

Statt der eben beschriebenen Vorrichtung kann auch zu dem nämlichen Zwecke der oben beschriebene und abgebildete Tisch (Fig. 3, S. 58) zum Theil benutzt werden. Es wird nämlich der Spiegel *e* weggenommen und durch ein Mikroskop ersetzt. Sorgt man dann durch ein auf passende Weise über dem Oculare angebrachtes kegelförmiges Futteral, wozu man ein mit schwarzem Papier beklebtes Stück Pappe nehmen kann, für Abhaltung des Lichtes, so entsteht das Bild auf einer matt geschliffenen Glasplatte, die auf den Ausschnitt bei *f* gelegt wird, und man kann es auf die nämliche Weise wahrnehmen, wie bei der soeben beschriebenen Einrichtung. Die Benutzung dieses Tisches zu dem bestimmten Zwecke, Umrisse von den Bildern der Objecte zu entwerfen, gewährt auch noch insofern einen nicht unerheblichen Vortheil, dass die Hand dabei bequemer auf der breiten Oberfläche des oberen Tischblattes ruht.

In den letzten Jahren hat man allgemein angefangen, die Photographie für mikroskopische Abbildungen zu benutzen, namentlich seit- **126**

dem Glas mit Collodium, mit Eiweiss oder Gelatine überzogen, statt der Silberplatte oder des Papieres in Gebrauch gekommen ist. Vorzüglich das Collodium ist dazu mit gutem Erfolge benutzt worden.

In Wien hat die unter Auer's Leitung stehende Staatsdruckerei mikroskopische Photographien geliefert. Ebendaselbst haben sich auch Pohl und Weselsky (*Sitzungsberichte der kais. Akad.* 1857, XXIII. Abth. 1, S. 317) damit beschäftigt, und schon früher soll Mayer in Frankfurt gute Photographien der Art angefertigt haben. Hessling und Kollmann gaben seit 1861 einen *Atlas der allgemeinen thierischen Gewebelehre* heraus, wozu Jos. Albert die photopraphischen Abbildungen lieferte. Im nämlichen Jahre erschien auch das *Album mikroskopisch photographischer Darstellungen aus dem Gebiete der Zoologie* von E. Heeger, worin Abbildungen von Insecten und Insectentheilen in geringer Vergrösserung gegeben werden. Desgleichen sind recht gute in Amsterdam von Carl Rensing geliefert worden. Besonders verdient in diesem Gebiete machte sich aber Gerlach (*Die Photographie als Hülfsmittel mikroskopischer Forschung.* 1863).

In Frankreich wurde bereits 1844 von A. Donné ein *Atlas d'Anatomie microscopique* herausgegeben, dessen Abbildungen nach Daguerreotypien copirt waren, die er in Gemeinschaft mit Léon Foucanlt angefertigt hatte. Später verlegte sich dort der Photograph A. Bertsch auf die mikroskopische Photographie; im Jahre 1857 legte derselbe (*Comptes rendus* XXXXIV. p. 213) der Pariser Akademie mehrere auf Papier gedruckte Photographien mikroskopischer Objecte vor, die in einen Atlas unter dem Titel *Etudes d'histoire naturelle au microscope* kommen sollten. Ich habe einige dieser Photographien zu Gesicht bekommen, die sich durch grosse Schönheit auszeichnen. Nach mündlicher Mittheilung hat sich auch Nachet mit gutem Erfolge auf das mikroskopische Photographiren gelegt.

In Antwerpen hat Henri van Heurck mikroskopische Photographien angefertigt und sein Verfahren auch in der Schrift beschrieben: *Le Microscope, sa construction, son maniement et son application aux études d'anatomie végétale.* Paris 1865, p. 62.

In Rom hat sich der Abbé Graf Fr. Castracane degli Antelminelli (*Bibl. univers. Arch. génér.* 1865. XXIII. p. 47) mit Erfolg auf das mikroskopische Photographiren verlegt.

Am häufigsten indessen hat man in England die mikroskopische Photographie geübt. Hodgson (*Quart. Journ. of microsc. Science* 1853, II, p. 147), Delves (Ibid. III, *Transact.* p. 57), Kingsley (*Philos. Magazine* 1853, June, p. 461), Shadbolt (*Quart. Journ.* 1853, III, p. 165), Huxley (Ibid., p. 178 u. IV, p. 305), sowie Wenham (Ibid. 1855, X. *Transact.*, p. 1. Ibid. 1863. N. Ser. IX, p. 77), Th. Davies (*Quart. Journ.* 1863. N. Ser. XI, p. 201), R. L. Madden (*Quart. Journ.* 1865. N. Ser. XVIII. *Transact.* p. 35. *Journ. of the London photographic Society.* Dec. 1864) haben die Resultate ihrer zum Theil recht gelungenen Versuche öffentlich

Digitized by Google

mitgetheilt, sowie auch mehr oder weniger ausführliche Beschreibungen der befolgten Methoden gegeben.

In Troy im Staate Newyork hat O. N. Rood sich auf solches Photographiren verlegt und sein Verfahren mitgetheilt (*Quart. Journ.* 1863. N. Ser. VIII, p. 261).

Ich selbst habe mich seit 1859 von Zeit zu Zeit praktisch mit der Sache beschäftigt und eine Anzahl mikroskopischer Objecte photographisch dargestellt.

Die Mittel zur photographischen Darstellung mikroskopischer Gegenstände sind in der Hauptsache ganz die nämlichen, die bei der Photographie im Allgemeinen in Anwendung kommen, und glaube ich mich damit begnügen zu dürfen, wenn ich den Leser auf die darüber handelnden Schriften verweise. Ich gebe deshalb nur eine kurze Beschreibung dessen, was der mikroskopischen Photographie eigenthümlich ist.

Die meisten der Vorgenannten haben nur Sonnenlicht zur Beleuchtung der Objecte geeignet gefunden; damit bekommt man binnen wenigen Secunden auf jodirtem Collodium einen vollkommenen Abdruck. Die Raschheit des Abdruckes ist aber gar sehr von der Art und Weise der Beleuchtung abhängig. Am besten eignet sich dazu ein auf der einen Seite concaver, auf der anderen Seite ebener Spiegel, in Verbindung mit einer Linse, die höher oder niedriger gestellt werden kann. Damit hat man es in der Gewalt, nach Umständen stärker oder schwächer zu beleuchten, und ausserdem kann man auch nach Willkür den erhellten Theil der Ebene, auf der das Bild entsteht, grösser machen, was namentlich bei schwachen Vergrösserungen zu Statten kommt. Richtig angebrachte Diaphragmen können hier ebenfalls, wie bei der gewöhnlichen Beleuchtung, vortheilhaft wirken, besonders dadurch, dass alle dunkelen Partien und halben Tinten des Bildes damit schärfer hervortreten. Von der Beschaffenheit des Objectes ist es demnach ganz abhängig, ob sie vortheilhaft wirken oder eher schädlich, und man hat dies für einzelne Fälle erfahrungsmässig festzustellen. Ich muss es deshalb für eine Uebertreibung erachten, wenn Gerlach allemal Blendungen mit möglichst feinen centralen Oeffnungen angewendet haben will. Auch einem anderen Satze Gerlach's kann ich nicht ganz beistimmen, dass man nämlich am besten fahre, wenn allemal concentrirtes paralleles Licht auf das Object fällt. Bei ganz verschiedenartiger Beleuchtung, jetzt mit parallelen und dann wieder mit convergirenden oder divergirenden Strahlenbündeln, hatte ich mich guter Erfolge zu erfreuen. Es verhält sich hier nicht anders, als bei der Beleuchtung für die gewöhnliche mikroskopische Beobachtung: jedes Object verlangt je nach seiner Art und Structur eine besondere Beleuchtung.

Der Zeitraum, wie lange das Lichtbild auf die mit Collodium überzogene Glasplatte einwirken soll, richtet sich zum Theil nach der benutzten Vergrösserung. Bei gleicher Stellung des Beleuchtungsapparates nimmt

Digitized by Google

die Lichtstärke des Bildes im quadratischen Verhältnisse der Vergrösserung ab. Die Erfahrung hat dargethan, dass die erforderte Zeitdauer nicht im gleichen Verhältnisse wächst, obschon sie etwas über die Vergrösserungsziffern hinausgeht. Indessen darf man die letzteren im Allgemeinen als die Minima der Zeitdauer ansehen. Hätte man also gefunden, dass bei 100maliger Vergrösserung zwei Secunden nöthig waren, um ein hinreichend kräftiges negatives Bild zu bekommen, so werden unter ganz gleichen Umständen bei 300maliger Vergrösserung wenigstens sechs Secunden dazu erforderlich sein. Ja meistens wird es gerathen sein, bei zunehmender Vergrösserung die Lichteinwirkung noch etwas zu verlängern.

Wie beim gewöhnlichen Photographiren hat man es auch hier in der Gewalt, die Zeitdauer der Lichteinwirkung zu verkürzen oder zu verlängern, je nachdem die Zusammensetzung des für den Lichteindruck empfindlich gemachten Collodiums Modificationen erleidet. Man könnte vielleicht glauben, das müsste bei mikroskopischen Photographien ziemlich einerlei sein; doch ist dem nicht so. Dauert die Aussetzung ans Licht zu lange, d. h. mehr denn 25 bis 30 Secunden, so übt die mittlerweile erfolgte Verrückung des Sonnenstandes bereits einen merkbaren Einfluss auf die Vertheilung von Licht und Schatten im Bilde. Bei starken Vergrösserungen ist es deshalb immer gerathen, ein rasch wirkendes Collodium zu nehmen, zumal wenn man sich dabei noch erinnern will, dass die Doppellinsen der Objective durch Canadabalsam in Verbindung gebracht sind, der die längere Einwirkung concentrirten Sonnenlichtes ebenfalls verbietet. Bei geringen Vergrösserungen dagegen verdient ein nicht zu rasch wirkendes Collodium den Vorzug, weil man dann weniger der Gefahr ausgesetzt ist, die Platte etwas zu früh oder zu spät der Lichteinwirkung zu entrücken. Bei 60maliger Vergrösserung erhielt ich mehrmals binnen einer Viertelsecunde ein deutliches Bild; aber es kommt dann natürlich ganz auf den Zufall an, ob ein solches Bild ein gutes Negativ liefert.

Ein grosser Uebelstand bei der Beleuchtung durch Sonnenlicht ist dessen Unbeständigkeit. Während des Winters ist seine Verwendbarkeit so ziemlich abgeschnitten, und selbst in der günstigeren Jahreszeit giebt es manche Tage, an denen die Sonne gar nicht oder nur vorübergehend am Himmel erscheint. Bei mikroskopischen Präparaten, die sich aufheben lassen, kommt darauf nicht viel an. Soll aber die mikroskopische Photographie als Hülfsmittel bei der Untersuchung organischer Gewebe in ihr volles Recht eintreten, so darf man dabei nicht so ganz von der Sonne abhängig sein. Deshalb hat man auch schon mehrfach versucht, das Sonnenlicht durch künstliches Licht zu ersetzen. Shadbolt benutzte das Licht einer Camphinlampe und will dadurch binnen 1 bis 10 Minuten ein vollkommenes Bild erhalten haben. Dies gelang aber Wenham nicht, der mit besserem Erfolge brennenden Phosphor, brennende Zinkspäne, oder eine Reihe elektrischer Funken durch Selbstentladung einer grossen Ley-

dener Flasche anwandte, dagegen mit geringerem Erfolge das auf Kalk einwirkende Hydrooxygenlicht. Schliesslich giebt er übrigens an, dass kein bekanntes Licht in dieser Beziehung dem Sonnenlichte gleichkommt. Bei Nachet's Versuchen erwies sich das elektrische Licht zwischen Kohlenspitzen recht brauchbar.

Alle diese Arten künstlichen Lichtes, das letztgenannte nicht ausgeschlossen, bleiben aber nach meiner Erfahrung in der chemischen Wirkung ganz hinter dem Sonnenlichte zurück; daher man auch selbst bei sehr langer Expositionsdauer noch keine Photographien bekommt, die mit jenen durchs Sonnenlicht erhaltenen den Vergleich aushalten. Bis jetzt kennen wir nur Eine Lichtquelle, die mit ziemlich gutem Erfolge statt des Sonnenlichtes verwendet werden kann, nämlich das Magnesiumlicht, mag dieses nach Bunsen's Methode durch Verbrennen von Magnesiummetall erweckt werden, oder nach Carlevaris (*Comptes rendus.* Juin 1865. LX, p. 1252. *Polytechn. Journ.* CLXXVII. S. 129) dadurch, dass man Stückchen Chlormagnesium oder kohlensaure Magnesia in die Hydrooxygengasflamme bringt. Magnesiumlampen, ähnlich jenen bereits in der Photographie gebräuchlichen, an denen ein Magnesiumdraht langsam abrollt und die mit einem dahinter befindlichen concaven metallischen Reflector ausgestattet sind, lassen sich wirklich zur Mikrophotographie verwenden, wenn man eine starke Sammellinse von bedeutendem Durchmesser, noch besser aber ein dreiseitiges Prisma mit zwei gewölbten Oberflächen in gehöriger Entfernung davor aufstellt, so dass ein convergirendes Strahlenbündel auf den Mikroskopspiegel fällt, wie es in Fig. 103 (S. 289) dargestellt ist.

Nach S. Th. Stein (*Berliner photograph. Mittheilungen*, 1865, Nr. 18. Dingler's *polytechn. Journ.*, 1865, S. 291) kann an Stelle des Sonnenlichtes auch das Licht einer Photogenlampe zu mikrophotographischen Zwecken benutzt werden. Die Lampe bekommt statt der kugeligen Glasglocke eine hohle Zinkkugel von 1/2 Fuss Durchmesser, die nach Art der Glasglocken über den Lampencylinder aufgesetzt wird. Den letzteren umschliesst ein vom oberen Theile der Kugel ausgehender schwarzer Rauchfang. Im Aequator der Kugel ist ein rundes 2 1/2 Zoll weites Loch ausgeschnitten, um eine Beleuchtungslinse einzusetzen. Gegenüber dieser Oeffnung ist an der Innenseite der Kugel ein Hohlspiegel befestigt, dessen Focus gerade der Lichtquelle entspricht, hier also der in der Kugel befindlichen Photogenflamme. Das Mikroskop wird natürlich in horizontale Stellung gebracht. Je nach der Stärke der Vergrösserungen dauert die Exposition 1/2 bis 2 Minuten; die erzeugten Bilder aber sollen gleiche Schärfe besitzen wie jene mit directem Sonnenlichte erhaltenen. — Die Petroleum- und Gasflamme sollen sich in gleicher Weise bewähren.

Was die fernere optische Einrichtung anbelangt, so haben manche dem gewöhnlichen Sonnenmikroskope mit aplanatischen Linsensystemen den

Digitized by Google

Vorzug gegeben und das Bild in einem dunklen Gemache aufgefangen. Andere haben in dem gewöhnlichen zur Photographie benutzten Gehäuse die Linse durch ein Objectivsystem mit einem davor befindlichen Objectivtische und einem Beleuchtungsapparate ersetzt. Wieder andere benutzten zur Erzeugung des Bildes lieber ein ganz zusammengesetztes Mikroskop, in senkrechter oder in horizontaler Stellung, oder auch wohl in einer combinirten Stellung, indem ein rechtwinkeliges gläsernes Prisma in die Bahn der Strahlen gebracht wird. Alle diese Modificationen des vergrössernden Apparates sind im Allgemeinen von geringer Bedeutung, denn auf alle diese genannten Weisen kann man gute Mikrophotographien erhalten. Soll aber der Mikroskopiker ein praktisch brauchbares Hülfsmittel in der Photographie haben, so ist die Einrichtung des photographischen Apparates keineswegs ganz gleichgültig. Nach meinem Dafürhalten muss derselbe folgenden Forderungen genügen.

1. Er muss vertical stehen. Präparate getrockneter oder in Canadabalsam aufbewahrter Objecte lassen sich zwar gleich gut in horizontaler wie in verticaler Stellung des Apparates photographiren; Präparate dagegen, die in einer Flüssigkeit enthalten sind (wohin doch die Mehrzahl der mikroskopischen Objecte gehören dürfte), können nur dann, wenn sie auf einer Objecttafel liegen, photographisch aufgenommen werden.

2. Er muss zu jedem Mikroskope passen, das mit einem ordentlichen Beleuchtungsapparate versehen ist, und dergestalt damit verbunden sein, dass das Mikroskop augenblicklich wieder zum gewöhnlichen Gebrauche hergerichtet werden kann. Besondere photographische Mikroskope, die bereits von manchen Optikern ausgeboten werden, sind vollkommen überflüssig und das dafür verwendete Geld wird ganz nutzlos ausgegeben. Aus den gleichen Gründen erachte ich es auch nicht ganz passend, wenn man mit Gerlach das Mikroskop zum Träger des photographischen Apparates macht. Soll dieser rasch weggenommen und wieder angesetzt werden können, so muss er einen eigenen Fuss besitzen. Dann läuft man auch nicht Gefahr, dass das Mikroskop und zumal die für feine Einstellung berechnete Mikrometerschraube durch das auflastende Gewicht beschädigt wird.

3. Der ganze Apparat darf nicht zu hoch sein. Steht er auf dem Tische, so muss man ohne Mühe wahrnehmen können, ob auf der matt geschliffenen Glasplatte oder auf dem ihre Stelle ersetzenden halbdurchscheinenden Pflanzenpapiere ein scharfes Bild sich darstellt, und eben so muss man den Knopf der Schraube zur feinen Einstellung bequem erreichen können. Man kann zwar die eintretende Vergrösserung steigern, indem man die Entfernung, worin das Bild aufgefangen wird, zunehmen lässt; das ist aber ein unerheblicher Vortheil, und es empfiehlt sich mehr, wenn eine stärkere Vergrösserung, ganz wie beim gewöhnlichen Mikroskope, durch stärkere Linsensysteme erzielt wird.

4. Wenn auch mit blossen Objectiven ohne Oculare gute photogra-

phische Bilder erhalten werden können, so gebe ich dennoch dem zusammengesetzten Mikroskope dazu den Vorzug. Gerlach ist zwar der entgegengesetzten Ansicht, weil durch das Ocular Licht verloren geht und besonders, weil es sehr schwer fallen soll, ein scharfes Bild auf die Glasplatte zu bringen. Ich kann nur sagen, dass mir diese Schwierigkeiten nicht aufgestossen sind: der Lichtverlust ist gar nicht oder doch kaum grösser, als es die stärkere Vergrösserung nothwendiger Weise mit sich bringt, die scharfe Einstellung aber finde ich in keiner Weise schwerer ausführbar, als wenn ein einzelnes Linsensystem da ist. Unter sonst gleichen Umständen liegt schon darin ein Vorzug, dass das zusammengesetzte Mikroskop mit Ocular und Objectiv das Werkzeug ist, womit man gewöhnlich arbeitet, daher die Photographie fast in gleicher Vergrösserung die directe Beobachtung wiedergeben kann, ohne dass man das Instrument verlängert, und dabei ist es auch bequemer für den Beobachter, wenn er sein Instrument in dem nämlichen Zustande lassen kann, und nicht das Ocular nebst einem Stücke des Mikroskoprohres wegnehmen muss. Dazu kommt, dass an den durch blosse Linsensysteme erzeugten Bildern die geringsten Staubtheilchen oder Verunreinigungen, die an einer der Linsenoberflächen vorkommen, als nebelartige Flecken sich darstellen. Nun kann und soll man freilich seine Linsen vor dem Gebrauche gehörig reinigen: geschieht dies aber auch, so bleibt doch leicht etwas zurück, oder aus der Luft fällt ein neues Staubtheilchen auf. Es erscheint dann eine sonst vielleicht gut gelungene Photographie fleckig. Solcher Unannehmlichkeit kann durch Beiziehung des Oculares zum Theil wenigstens vorgebeugt werden; denn wenngleich Verunreinigungen des Oculares ebenfalls ein fleckiges Bild machen, so sind doch die Flecken kleiner und deshalb weniger störend, und die Ocularlinsen lassen sich auch weit leichter reinigen als die Objectivlinsen. Durch das Ocular wird auch der zu grossen Verlängerung des Apparates behufs starker Vergrösserungen vorgebeugt. Will man z. B. mit einem Objectivsysteme von 1,7^{mm} Brennweite, wie Nr. 9 Hartnack, eine 1000malige Vergrösserung haben, so muss die das Bild auffangende Platte etwa 1,75 Meter von dem Linsensysteme entfernt sein, und durch ein Ocular mit 6maliger Vergrösserung verkürzt sich diese Entfernung auf 29 Centimeter.

Das zusammengesetzte Mikroskop, wie es gewöhnlich eingerichtet ist, beeinträchtigt nur in Einer Beziehung die Gewinnung guter photographischer Bilder: die Oculare sind nach der Peripherie hin stärker vergrössernd als im Centrum, deshalb geben die Bilder die Gestalt der Objecte nicht ganz genau wieder, und sie können auch weiterhin nicht zu genauen Messungen benutzt werden. Dieser Uebelstand ist aber auf die früher (I. S. 143) erwähnte Weise ganz zu beseitigen, wenn man nämlich den Abstand der Ocularglässer von einander so einrichtet, dass die Striche eines Glasmikrometers, dessen Bild auf der als Schirm dienenden Glasplatte

aufgefangen wird, bis zum Rande hin gerade verlaufen. Das ist mit Amici'schen Ocularen ausführbar, an denen das obere Ocularglas in einer Röhre steckt, die selbst wieder in der zweiten Röhre mit dem unteren Ocularglase auf- und abgeschoben werden kann.

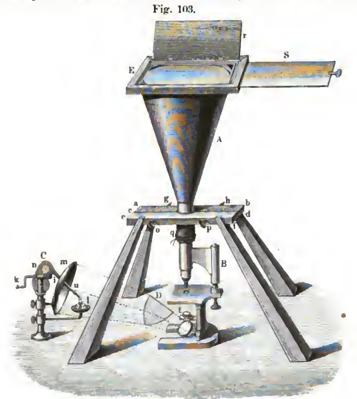
5. Der Knopf der Schraube für feine Einstellung muss eine Theilung haben, die entweder auf ihm selbst oder auf einer damit verbundenen kreisförmigen Platte angebracht sein kann, und eine feststehende Spitze hat als Zeiger zu dienen; er muss also die nämliche Einrichtung haben, wie der früher (§. 121) beschriebene Dickenmesser. Der Brennpunkt der aktinischen oder chemisch wirkenden Strahlen fällt nämlich nur selten mit jenem der eigentlichen Lichtstrahlen zusammen *). Da die aplanatischen Linsensysteme überverbessert sind, so muss ein scharfes photographisches Bild in etwas weiterer Entfernung entstehen, als das auf der matten Glasplatte aufgefangene Lichtbild. Beim zusammengesetzten Mikroskope erfolgt eine Aenderung hierin durchs Ocular, weil dieses die Ueberverbesserung mehr oder weniger aufhebt oder selbst in Unterverbesserung umwandelt. Im Allgemeinen haben die beiden Brennpunkte den grössten Abstand von einander bei Objectiven mit grosser Brennweite, also geringer Vergrösserung. Der Abstand vermindert sich in dem Maasse, als die Brennweite des Objectives abnimmt, und wenn diese Brennweite nur 3 Millimeter oder noch weniger beträgt, ist er so gering, dass er ganz unberücksichtigt bleiben kann, zumal die Objecte oder Theile eines Objectes fast niemals in der nämlichen Ebene sich befinden. Tritt daher auch jener Theil, auf welchen eingestellt ist, nicht ganz scharf im photographischen Bilde hervor, so besitzt dieses dafür an einer anderen Stelle des abgebildeten Feldes die nöthige Schärfe. Sollte es aber nöthig werden, darin eine Verbesserung eintreten zu lassen, so verwendet man am besten hierzu die Schraube für feine Einstellung. Hat man nur einmal durch vorgängige Proben mit dem Objective, oder mit diesem in Verbindung mit dem Oculare gefunden, um wie viele Theile die Schraube vor oder zurück gedreht werden muss, wenn ein scharfes photographisches Bild entstehen soll, so lässt man fernerhin bei dem nämlichen Objective und Oculare die nämliche Verbesserung eintreten. Dieses Verfahren hat den Vorzug der Einfachheit für sich, im Vergleiche zu zwei anderen Verbesserungsweisen, welche dahin gehen, dass man die Stelle für das Auffangen des Bildes abändert, oder dass man, was Wenham bei Anwendung blosser Linsensysteme gethan hat, eine gewöhnliche biconvexe Linse über das Objectiv bringt, wodurch aus der Ueberverbesserung eine Unterverbesserung wird. Man braucht dann natürlich für jedes Linsensystem auch wieder eine besondere derartige Linse.

*) Mikroskopische Objective herzustellen, die auch für die chemischen Strahlen verbessert sind, ist umlängst unter Rutherford's Anleitung von Wales (*Americ. Journ* 1865, p. 309) versucht worden.

6. Wie jeder andere photographische Apparat muss auch der zu Mikrophotographien bestimmte immer ganz verdunkelt sein; ja das ist hier sogar noch weit mehr nöthig, als bei der gewöhnlichen dunkelen Kammer. Jegliches Licht muss abgeschnitten und die ganze innere Fläche muss matt geschwärzt sein, dass nirgends eine Lichtreflexion vorkommen kann. Während aber das Licht vollständig abgehalten wird, muss der Apparat zur Zeit, wann er in Gebrauch ist, doch auch einen gewissen Grad von Beweglichkeit zum Anschlusse ans Mikroskop besitzen, und dazu bedarf es besonderer Einrichtung.

Der Apparat, dessen ich mich seit mehreren Jahren bediene (Fig. 103), entspricht diesen verschiedenen Anforderungen, ist dabei leicht zu

Fig. 103.



Harting's photographischer Apparat.

beschaffen und nichts weniger als kostspielig. Er stellt eigentlich nur eine Modification des in Fig. 102 (S. 279) dargestellten tragbaren Sonnenmikroskopes dar und trägt auch die nämliche Bezifferung. Der damit in Verbindung gesetzte Apparat zur Beleuchtung mit Magnesiumlicht

Digitized by Google

ist unter *C* dargestellt und begreift: *i* Schraube ohne Ende mit der Kurbel *k*, das gezahnte Rad *n*, die Röhre zur Leitung des Magnesiumdrahtes *u*, die Alkohollampe *l*, den Spiegel *m*, sowie das Prisma *D* mit gewölbten Oberflächen; bei *t* aber ist noch eine Erleuchtungslinse angebracht. Ich benutze aber in der Regel ein Mikroskop mit Oberhäuser'schem Hufeisenstativ. Das cylindrische Ende des Kegels *A* lässt sich bequem über das Ocular schieben und hat eine aus einer Kautschukplatte gebildete Röhre *q*, die auf das Mikroskoprohr herabreicht und durch ein umgelegtes Band daran befestigt wird, um alles Licht abzuhalten. Der obere aufrechtstehende Rand des Kegels ist doppelt, d. h. an der Innenseite ist ein zweiter Rand angebracht, und diese beiden Ränder umschliessen einen ringförmigen Raum, in den ein zwei Centimeter hoher blecherner Ring genau passt. Dieser Metallring sitzt an der Unterfläche des Aufsatzes *E* und hat blos die Bestimmung, den Aufsatz fest auf den Kegel setzen und wieder wegnehmen zu können. Dieser Aufsatz könnte ganz die Form haben, wie der hintere Theil der gewöhnlichen dunklen Kammer mit verschiebbarer matter Glastafel, die dann durch das Kästchen mit der Collodiumplatte, welche vorher ins Silberbad getaucht wurde, ersetzt wird. Einfacher ist es aber, wenn man diesen Aufsatz selbst als Kästchen verwendet, was unbedenklich geschehen darf, weil man mit leblosen Objecten zu thun hat, die in der scharfen Einstellung verharren, worein sie einmal versetzt wurden. Dieser Aufsatz ist ein vierseitiger fester hölzerner Rahmen von 21 Centimeter Durchmesser und 1,5 Centimeter Höhe. Die Leiste hat 3 Centimeter Breite. Am Innenrande dieses Rahmens verlaufen zwei Gruben oder Leisten: die äussere nimmt die um ein Charnier bewegliche Klappe *r* auf; auf der inneren ruhen die Ränder der Glasplatte. Gleich darunter bewegt sich in zwei seitlichen Gruben der Schieber *s*.

Wird der Apparat aufgestellt, so kommt der Rahmen zuerst auf den hohlen Kegel, auf die innere Leiste aebr legt man eine matte Glasplatte mit der mattgeschliffenen Fläche nach unten, oder, was gleich entsprechend ist, eine durchscheinende Glasplatte, die unten mit Pflanzenpapier bedeckt ist. Ein mit Terpentinöl durchzogenes Papier passt hier nicht, weil das verdunstende Terpentinöl die Bildformung beeinträchtigt. Auf die Glasplatte sind ein Paar Streifen Band aufgeklebt, um sie leicht wegnehmen zu können. Unterdessen hat mau bereits die vorher mit Collodium überzogene Glasplatte in das Silberbad gebracht. Ist nun das Bild scharf eingestellt, so wird der Schieber vorgeschoben, die matte Glasplatte weggenommen und an deren Stelle kommt die aus dem Silberbade gezogene Platte, die man ein Paar Augenblicke hat abträufeln lassen, in die dunkele Kammer, und die Klappe wird geschlossen. Ist alles rasch gegangen, dann kann der Aufsatz ohne Weiteres wieder auf den Apparat kommen. Wäre dagegen eine gewisse Zeit verstrichen und zu besorgen,

das Feld sei nicht mehr gehörig beleuchtet, so bringt man ein Blatt Pflanzenpapier über die Oeffnung, um zu sehen, ob das Licht noch die frühere Ausbreitung hat. Erforderlichen Falles erhält dann der Spiegel eine andere Richtung, bis wiederum das ganze Feld kreisförmig erleuchtet ist. Jetzt wird die Beleuchtungslinse mit einem Stücke geschwärzter Pappe bedeckt, die aber gross genug sein muss, dass sie sich bequem mit den Fingern fassen lässt; dadurch wird das Licht abgehalten. Der Schieber wird weggezogen, das Pappstück rasch weggenommen, und nach Verlauf der zur Bildformung nöthigen Anzahl Secunden wieder auf die Linse gelegt. Nun schliesst man durch den Schieber, nimmt den Aufsatz vom Apparate weg und bringt ihn in die dunkele Kammer. Die weiteren Manipulationen, nämlich das Ansichtigmachen des Bildes, die etwa erforderliche Verstärkung des Negativs, das Fixiren, schliesslich die positive Copie auf präparirtem Papier, sind ganz wie beim Photographiren anderer Objecte und brauchen deshalb nicht besonders besprochen zu werden.

Fragen wir, welchen Nutzen die mikroskopische Untersuchung aus der Photographie ziehen kann, so sind mehrere Punkte dabei zu berücksichtigen. Wenn man einmal das Bild der mikroskopischen Objecte photographisch zu fixiren vermag, so sollte, hat man gemeint, das Photographiren vor dem Zeichnen immer den Vorzug verdienen, und deshalb hat man auch wohl von einigen Seiten den gewöhnlichen Bilddruck durch Photographien ersetzen wollen. Das heisst aber den Werth der Photographie weit übertreiben. Das Zeichnen mikroskopischer Objecte wird, wie schon vorhin (S. 276) bemerkt wurde, durch solche Abbildungen keineswegs überflüssig gemacht. Ueberdem tritt auch in einer photographischen Abbildung nur eine einzige Fläche mit Schärfe hervor, und alle anderen Theile, die sich in einer anderen Ebene befinden, machen zwar wohl noch einen Eindruck, treten aber in dem Bilde nur mit mehr oder weniger nebelartigen Umrissen hervor. Aus früher mitgetheilten Messungen (I, S. 214) ist aber zu ersehen, welche geringe Tiefe das wirkliche Gesichtsfeld im Mikroskope hat. Wenham hat hier allerdings dadurch abzuhelfen gesucht, dass er das photographische Bild stückweise sich bilden lässt, indem er eine Karte in den Weg der Strahlen bringt, so dass die einzelnen Abschnitte des Objectes sich erst nach einander formen. Aber offenbar kann dieses Hülfsmittel nur in sehr wenigen Fällen wesentliche Dienste leisten, da es durchaus nicht ausreicht, sobald ein aus verschiedenen Schichten bestehendes Gewebe photographirt werden soll, dessen Schichten durcheinander hindurchschimmern.

Photographische Abdrücke zu den gebräuchlichen Illustrationen zu benutzen, dürfte man wegen grösserer Kostspieligkeit nur selten in den Fall kommen, zumal auch die Frage noch nicht entschieden ist, wie lange sich Photographien unverändert erhalten. Mehr versprechend sind die in jüngster Zeit unternommenen Versuche, die Photographie mit dem ge-

wöhnlichen Stein- und Holzdrucke in Verbindung zu setzen. Bereits hat auch Gerlach (*Monatsberichte der Berl. Akad.* Sept. Oct. 1864) durch gelungene Versuche dargethan, dass mikroskopische Photographien auf diesem Wege sich ebenfalls vervielfältigen lassen. Namentlich empfiehlt sich seine Methode bei injicirten und imbibirten Präparaten, wo die benutzten Färbungen im Drucke durch karminsaures Ammoniak und durch Anilinblau wieder gegeben werden. Abdrücke mikroskopischer Photographien der Blutkörperchen färbte er mit Blutfarbstoff selbst. Es ist nicht leicht möglich, in Abbildungen, welche durch den Druck vervielfältigt werden, der Natur näher zu rücken.

Darf man also auch sicher behaupten, die Photographie werde das Zeichnen niemals vollständig ersetzen, so ist sie doch ganz an ihrem Platze als Mittel, genaue Abbildungen zu erhalten, und in dieser Beziehung übertrifft sie bei Weitem die anderen derartigen Hülfsmittel, z. B. die verschiedenen Arten der Camera lucida. Wenn es darauf ankommt, eine ganz genaue Basis für eine anatomische Zeichnung zu erhalten, worin viele und mühsame Details dargestellt werden sollen, da ist die Photographie ganz am Platze. Ebenso ist sie aber auch manchmal ein unschätzbares Hülfsmittel der Mikrometrie. Mit grösster Leichtigkeit lässt sich die Photographie eines Glasmikrometers oder eines anderen als Normalmaass benutzten Objectes aufnehmen, und zwar genau bei derselben Vergrösserung, welche das Lichtbild hatte, wobei nur dahin zu achten ist, dass die Vergrösserung nach der früheren Anweisung in der ganzen Ausbreitung des Gesichtsfeldes eine gleichmässige wird.

Die Deutung von Mikrophotographien verlangt aber einige Vorsicht. Man kann da nicht mehr durch Auf- und Niederschieben des Mikroskoprohres mittelst der Mikrometerschraube höher oder tiefer liegende Theile unterscheiden. Die Brechung des Lichtes beim Durchgange durch die Objecte kann auch trügerische Lichteffecte hervorrufen, zumal in dem leicht eintretenden Falle, dass die mehr oder weniger dunkeln Theile im photographischen Bilde sich noch dunkler darstellen, als wenn die nämlichen Theile mit dem Auge durchs Mikroskop angeschaut werden. So könnte wohl der dunkle Fleck, den jedes photographirte Blutkörperchen vom Menschen erkennen lässt, leicht für einen Kern gehalten werden.

Ferner kann die Reflexion des Lichtes von der oberen Fläche der Glasplatte störend wirken; zumal wenn die Collodiumschicht sehr dünn ist, kann auch dadurch ein freilich nur schwacher Eindruck entstehen, der aber doch manchmal, namentlich nahe den Rändern des Bildes, wo die Strahlen am schiefsten eingefallen sind, die Umrisse gleichsam verdoppelt.

Die mikrophotographischen Bilder können selbst wieder als Objecte benutzt werden, sei es, dass man sie wieder durchs Mikroskop betrachtet oder ihr durch ein Bildmikroskop vergrössertes Bild vielen Beschauern

auf einmal vorführt, sei es, dass man damit neue noch stärkere Photographien anfertigt. Es ist eine bekannte Thatsache, dass Photographien im Allgemeinen mit solcher Feinheit und Schärfe sich herstellen lassen, wobei sie nicht nur eine bedeutende Vergrösserung vertragen, sondern auch noch Details zur Anschauung bringen, wovon das blosse Auge keine Spur entdecken kann. Die wesentlichen Bedingungen hierzu sind doppelter Art: a. eine ganz scharfe Einstellung auf das durch die chemischen Strahlen erzeugte Bild; b. möglichste Feinheit des Silberniederschlages, woraus die Zeichnung besteht. Differiren die Brennpunkte der chemischen Strahlen und der eigentlichen Lichtstrahlen nur sehr wenig, so kann man der ersteren Bedingung Genüge leisten, wenn man die Einstellung mit der Lupe oder selbst mit dem zusammengesetzten Mikroskope ausführt. Um die zweite Bedingung zu verwirklichen, muss man den Silberniederschlag etwas verlangsamen, und zwar durch Verdünnung der beiden Flüssigkeiten, aus denen er hervorgeht. Dem Collodium muss mehr Aether, der salpetersauren Silbersolution muss mehr Wasser zugesetzt werden, als es sonst bei Photographien üblich ist. Vortheilhaft scheint es auch zu sein, wenn man die Platte zuerst in ein schwaches Silberbad (6 bis 7 Theile salpetersaures Silber auf 100 Theile Wasser) bringt, dann mit Eiweiss übergiesst, und endlich noch einmal in ein mit Essigsäure versetztes stärkeres Silberbad (10 Theile Silbersalz, 10 Theile Essigsäure, 100 Theile Wasser) taucht *). Ferner darf das Bild auch nicht zu rasch hervorgerufen werden, und deshalb verdient Pyrogallussäure (1 Theil Pyrogallussäure, 3 Theile Gallussäure, 25 Theile Alkohol, 1000 Theile Wasser) den Vorzug vor der Auflösung des schwefelsauren Eisenoxyduls. Zur Verstärkung des Bildes können dem Bade von Pyrogallussäure ein Paar Tropfen einer Lösung salpetersauren Silbers (2 Theile auf 100 Theile Wasser) zugesetzt werden. Die Fixation bewirkt man durch unterschwefligsaures Natron (20 Theile auf 100 Theile Wasser).

Ob im photographischen Bilde eines mikroskopischen Objectes ganz feine Details auftreten können, die nur bei stärkerer Vergrösserung sich erkennen lassen, ob man daher hoffen darf, in der Photographie ein Hülfsmittel zu besitzen, wodurch man in die feinere Structur der Körper noch tiefer einzudringen vermag als durchs blosse Mikroskop, das sind Fragen, die von der Erfahrung allein eine Beantwortung zu gewärtigen haben. Die Vergrösserung solcher Bildchen kennt keine Grenzen. Benutzt man ein Stückchen einer bei 300maliger Vergrösserung verfertigten negativen Photographie auf Glas als durchscheinendes Object, setzt dieses nochmals einer 50maligen Vergrösserung aus und fängt das Licht-

*) S. Dagron, *Traité de photographie microscopique*. Par. 1864, p. 26. Das Schriftchen handelt nicht über Photographien mikroskopischer Gegenstände, sondern über die Anfertigung ganz kleiner Photographien, die man hinter Stanhope'sche Cylinderlinsen bringt oder durch ein Mikroskop betrachtet.

bild auf präparirtem Albuminpapiere auf, so hat man ein positives Bild mit 15000maliger Vergrösserung. Wäre dieses Bild auf einer empfindlichen Glasplatte aufgefangen worden, so liesse sich die Vergrösserung nach Erforderniss noch höher treiben, wodurch immer stärker vergrösserte Bilder entstehen würden. Ist dann aber in diesen Bildern etwas mehr zu sehen, als in dem ersten Bilde? Darauf kommt es doch eigentlich hier eben so an, wie bei jener Vergrösserung, die man beim gewöhnlichen Mikroskope durch stärkere Oculare zu Stande bringt. Meine bisherigen Erfahrungen sprechen nicht dafür. Eine Photographie, die mit einem blossen Objective und aus nicht zu grosser Entfernnng erhalten wurde, mag man vielleicht mit Vortheil einer ferneren schwachen Vergrösserung aussetzen; wurde aber das Objectiv mit dem 6 bis 7 Male vergrössernden Oculare in Verbindung gesetzt, dann sind mir wenigstens noch keine Fälle vorgekommen, wo an einem weiter vergrösserten photographischen Bilde mit blossem Auge nicht alles dasjenige bereits sichtbar gewesen wäre, was mit einer Lupe oder bei noch stärkerer Vergrösserung der Wahrnehmung sich darstellte. Bisher hat es mir nicht gelingen wollen, photographisch etwas sichtbar zu machen, was ich nicht auch dnrch das gewöhnliche Mikroskop mit dem nämlichen Objective nnd dem nämlichen Oculare hätte sehen können. Nur schwierig zu erkennende Einzelnheiten, z. B. die feinen Streifen auf Diatomeenschalen, treten manchmal etwas deutlicher hervor. Wahrscheinlich rührt dies zum Theil wenigstens davon her, dass das photographische Bild, als durch die stärker brechbaren nnd vom Ange nicht empfnndenen Strahlen gebildet, mit dem im Auge entstehenden Lichtbilde nicht ganz identisch ist. So will auch Gerlach (a. a. O. S. 14) an photographischen Bildern der Muskelfaser Details wahrgenommen haben, die sich hiernach würden erklären lassen. Es kann aber auch der umgekehrte Fall eintreten, dass nämlich das photographische Bild die Structur nicht mit gleicher Feinheit wieder giebt, wie das Mikroskop, wodurch man mit blossem Ange sieht. So bekam Wenham von einem kleinen rothgefärbten Insecte, an dem bei durchfallendem Lichte das ausgebreitete Tracheensystem gnt sichtbar war, nur ein ganz gleichmässig schwarz gefärbtes Bild.

Die Anfertignng mikroskopischer Photographien kann demnach in einzelnen Fällen ein nicht unwichtiges Hülfsmittel sein, womit man tiefer in den feinen Bau der Körper eindringen kann. Die aktinischen Strahlen verhalten sich in dieser Hinsicht wie die polarisirten Strahlen. Man kann sie beide noch nutzbar verwenden, wenn das gewöhnliche Licht nicht ausreicht, unserem Ange Abweichnngen im Gange der Aetherschwingungen sichtbar zu machen, die ihrerseits nur die Folgen bestimmter Differenzen der Gestaltung oder des molekulären Zustandes der Körper sind.

127 Ausser den bisher genannten Mitteln giebt es noch andere, wodurch

man die Anfertigung mikroskopischer Zeichnuugen erleichtern, und dieselben getreuer machen kann. Dahin gehört das in Vierecke abgetheilte Glasmikrometer, oder eine aus feinem Metalldrahte verfertigte Gaze, die in das Ocular gebracht wird und das ganze Gesichtsfeld in viereckige Felder abtheilt. Hat man vorher auf ein Papier ähnliche, nur grössere Vierecke gezeichnet, so kann man dann das Bild des Objectes so hinein zeichnen, wie es im Gesichtsfelde des Mikroskopes sich darstellt.

Auf dieses Princip stützt sich auch ein anderes von Stilling (*Bau u. Verrichtungen des Gehirns.* Jena 1846, S. 20) angegebenes Verfahren. Er benutzt nämlich Glaspapier, eine aus Thierleim verfertigte Masse, so dünn wie Papier und durchsichtig wie Glas. Ein Stückchen solches Glaspapier wird mit etwas arabischem Gummi auf das Deckplättchen geklebt, unter dem sich ein mikroskopisches Präparat befindet. Nun bringt man dieses unters Mikroskop und mit einer Gravenrnadel zeichnet man die Umrisse des vergrösserten Objectes auf das Glaspapier. Weiterhin zeichnet man darauf ein Netz von Strichen, wodurch das Ganze in viereckige Felder abgetheilt wird, und hierauf trägt man ein ähnliches Netz grösserer Vierecke auf ein Stück Papier auf und überträgt darauf die auf dem Glaspapier bewirkte Zeichnung.

Offenbar ist aber dieses Verfahren nur bei sehr schwachen Vergrösserungen von 10 bis 20 mal im Durchmesser anwendbar, weil ja sonst gar kein Platz da wäre, die Gravenrnadel hinzuführen; auch würde man sonst das Object und das Glaspapier, da sie nicht gleich weit vom Mikroskope entfernt sind, nicht gleichzeitig scharf sehen können.

Stilling hat aber auch noch eine andere Benutzung des Glaspapiers angegeben. Will man nämlich eine darauf befindliche Zeichnung auf Papier oder behufs einer Lithographie auf den Stein übertragen, so reibt man die gravirte Oberfläche mit dem Pulver von rother oder schwarzer Kreide oder auch von Graphit ein, und durch Blasen oder Reiben schafft man das Ueberflüssige weg. Legt man nun die eingeriebene Oberfläche, wo blos jene mit der Nadel eingeschnittenen Stellen das Pulver aufgenommen haben, auf Papier oder auf Stein, und streicht man mit einem Falzbeine einige Male über die entgegengesetzte Fläche des Glaspapieres, dann prägt sich die Zeichnung umgekehrt darauf ab. Soll aber die Zeichnung hierbei in der richtigen Stellung sein, so wird das gravirte Stück Glaspapier auf schwarzes Papier gelegt und die Zeichnung erst auf der anderen Seite nachgezeichnet, die man alsdann einreibt und sonst auf die nämliche Weise behandelt.

Wenn man übrigens zur Anfertigung einer Zeichnung das weiter oben beschriebene tragbare Sonnenmikroskop benutzte, und auf die mattgeschliffene Glasplatte ein Stück Glaspapier legte, so würde man begreiflicher Weise darauf mit geringer Mühe eine sehr genaue Zeichnung gewinnen können, die sich dann auf genannte Weise auf Papier oder Stein übertragen liesse.

Digitized by Google

Siebenter Abschnitt.

Aufbewahrung mikroskopischer Präparate.

---

128 Für den Mikroskopiker ist es sehr wichtig, Mittel zu besitzen, wodurch die angefertigten Präparate sich im ursprünglichen Zustande erhalten. Das hat man auch eingesehen, sobald man das Mikroskop zu benutzen angefangen hat, und man hat darauf hinzielende Versuche vorgenommen, deren im folgenden Bande in der historischen Uebersicht gedacht werden soll. Hier werde ich nur von jenen Aufbewahrungsmethoden sprechen, deren Brauchbarkeit sich mir durch eine vieljährige Erfahrung überzeugend dargethan hat.

Nur wenige Objecte lassen sich trocken im unverändertem Zustande aufbewahren, und selbst wo dieses möglich ist, wie mit Haaren, Fischschuppen u. s. w., verdient diese Methode dennoch meistens nicht den Vorzug, weil diese Körper frei in der Luft nicht durchsichtig genug sind, um ihre zusammensetzenden Elemente gehörig wahrnehmen zu lassen (§. 32). Fast nur bei Insectenschüppchen und einigen Arten von Diatomeen, so z. B. bei den als Probcobjecte benutzten (I, §. 239), ist diese Aufbewahrungsweise nicht blos brauchbar, sondern sie verdient selbst den Vorzug, weil die verschiedenen Arten kleiner Streifen gerade im trockenen Zustande mit grösserer Deutlichkeit gesehen werden.

Solche Schüppchen werden zur mikroskopischen Betrachtung am einfachsten dadurch vorbereitet, dass man einige auf ein Objecttäfelchen bringt, wo sie schon von selbst ankleben, was man aber auch noch dadurch befördern kann, dass man auf das Täfelchen ausathmet. Darauf

Digitized by Google

kommt ein Deckplättchen von zweckentsprechender Dicke (I, §. 160), und das Objecttäfelchen wie das Deckplättchen verklebt man dann mit einem Streifen Papier, der in der Mitte, wo das Object liegt, durchbrochen ist.

Manche organische Substanzen würden alsbald von pflanzlichen und thierischen Parasiten angegriffen werden, wenn man sie blos im trockenen Zustande aufbewahrte, z. B. Durchschnitte vorher aufgeblasener und getrockneter Organe, wie der Lungen und dergleichen. Dem zu begegnen, pflege ich solche Präparate mit Terpentinöl anzufeuchten, nach dessen Verdunstung immer eine ganz dünne firnissartige Lage zurückbleibt, welche ausreichend ist, das Gewebe weiterhin zu schützen.

Bei weitem die meisten mikroskopischen Objecte und Präparate müssen aber in einer Flüssigkeit aufbewahrt werden, die wiederum je nach der Art des Objectes variirt. Ich benutze dazu folgende Flüssigkeiten. 129

1. Eine Solution von vollständig eisenfreiem Chlorcalcium, die entweder saturirt oder noch mit 4 bis 8 Theilen Wasser verdünnt ist. Die saturirte Solution findet sehr allgemein Anwendung in allen solchen Fällen, wo das aufzubewahrende Gewebe einen ziemlichen Grad von Festigkeit oder Härte besitzt. Alle Zahn- und Knochenpräparate, Durchschnitte von Haaren, Federn, Fischschuppen, Fischbein und ähnliche Substanzen lassen sich darin aufbewahren; nur wirkt sie insofern nachtheilig auf Knochen- und Zahnpräparate, dass sie nach einiger Zeit in einen Theil der feinen Kanälchen eindringt, wodurch diese an Sichtbarkeit verlieren. Auch viele kleine Thierchen mit einer harten Epidermis, wie Käse- und Krätzmilben, kleine Süsswassercrustaceen u. s. w., lassen sich gut darin aufbewahren. Ausserdem aber auch manche weiche thierische Gewebe, namentlich Gehirn- und Rückenmarkspräparate; denn wenn diese auch darin durchsichtiger werden, so wird doch hierdurch wieder der allgemeine Verlauf der Fasern und deren Verhalten zu den Ganglienzellen deutlicher.

Bei allen vegetabilischen Körpern, wo die Wandungen der Zellen und Gefässe einer beginnenden Incrustation unterlagen, passt diese Solution ebenfalls. Sie eignet sich aber auch ganz gut zum Aufbewahren der kieselpanzerigen Bacillarien oder Diatomeen, wenn es dabei blos auf die Schalen oder die Panzer ankommt. Auch die Krystalle im Innern der Pflanzengewebe verändern sich nicht darin. Amylumkörner schwellen dagegen im Chlorcalcium auf und werden viel durchsichtiger; deshalb ist es nicht brauchbar, wo es darauf ankommt, auch diese im unveränderten Zustande aufzubewahren.

Eine gute Eigenschaft dieser conservirenden Flüssigkeit besteht darin, dass sie niemals ganz verdunsten kann, dass die Objecte gegen

Digitized by Google

Vertrocknung geschützt sind. Es könnte somit scheinen, als würde eine Verschliessung an den Rändern des Deckglases hier weniger gefordert, als beim Benutzen anderer Flüssigkeiten. Allerdings habe ich auch viele Präparate mehrere Jahre hindurch darin gehabt ohne einen Verschluss. Indessen hat mich die Erfahrung doch gelehrt, dass es durchaus nöthig ist, auch hier die Luft abzuhalten, weil sich sonst früher oder später eine Art von *Hygrococis* darin entwickelt, die, einmal entstanden, sich gleichsam von Präparat zu Präparat fortpflanzt und dann in kurzer Zeit alles verdirbt; denn die feinen, nach allen Richtungen sich verbreitenden und verästelnden Zellfasern dieses Pflänzchens dringen in alle Zwischenräume der Objecte ein und lassen sich nicht mehr beseitigen. Hunderte von Präparaten habe ich dadurch verloren. Später habe ich dann immer die Ränder der Deckplättchen mit einem Kitt bestrichen, und das muss ich auch allen empfehlen, die sich dieser Flüssigkeit bedienen wollen.

Eine mit vier bis acht Theilen Wasser verdünnte Chlorcalciumsolution eignet sich vornehmlich dazu, junge Pflanzengewebe mit noch nicht verholzten Zellen aufzubewahren. Entsprechend dem Alter der Zellen, welche das Gewebe zusammensetzen, wendet man eine mehr oder weniger verdünnte Flüssigkeit an.

2. Canadabalsam. Es kommen mehrere Sorten davon im Handel vor, die sich durch einen verschiedenen Grad der Reinheit und Färbung unterscheiden. Der beste, der für diesen Zweck allein benutzt werden sollte, ist ganz durchsichtig, beinahe farblos und dickflüssig *).

Als Bewahrmittel wird der Canadabalsam in allen jenen Fällen angewandt, wo es darauf ankommt, die Durchsichtigkeit eines Objectes zu vermehren, bei Pollenkörnchen, bei Durchschnitten von harten Fruchthüllen, von Korallen, von Schalen, und ganz besonders bei solchen Injectionspräparaten thierischer Organe, die durch vorgängiges Trockenwerden keine Veränderung erleiden, wovon §. 81 die Rede war. Auch für Knochen- und Zahnschliffe ist Canadabalsam das beste Bewahrmittel, wenn es nämlich vorzüglich darauf ankommt, die mit Luft erfüllten und deshalb schwarz erscheinenden Höhlungen und Kanäle deutlich zum Vorschein zu bringen, weil die Intercellularmasse dadurch sehr durchsichtig wird. Freilich sind aber auch deshalb manche Einzelnheiten darin weniger sichtbar als in einer Chlorcalciumsolution. Der Canadabalsam passt ferner bei vielen pulverförmigen mineralischen Substanzen, z. B. für den diatomeenhaltigen Schlamm, für die Foraminiferen in der Kreide u. s. w.

*) Statt Canadabalsam kann auch Mastix- Copal- oder Damarfirniss genommen werden; dieselben müssen nur durch langsame Erwärmung gehörig eingedickt sein, worauf man etwas venetianischen Terpentin zusetzt. Irgend ein Vorzug vor dem Canadabalsam kommt aber diesen Firnissen nicht zu, und man wird besser zu jenem greifen, wenn er zu haben ist.



Für alle diese Objecte nimmt man Canadabalsam, der bei der gewöhnlichen Lufttemperatur so dickflüssig ist, dass er aus dem umgekehrten Gefässe nicht von selbst ausfliesst. Einen dünnen Balsam muss man einige Zeit erwärmen, bis er den erforderlichen Consistenzgrad bekommt. Wäre er dagegen zu dick, so wird er durch Erwärmung flüssig gemacht und dann noch mit etwas Terpentinöl versetzt.

Statt in Terpentinöl kann man den Canadabalsam auch in Chloroform lösen, was zuerst im Jahre 1857 von Shearman Ralph in Wellington auf Neuseeland (*Quart. Journ.* 1858, XXXI. p. 36) empfohlen wurde. Das flüchtige Chloroform verdunstet sehr rasch. Man braucht deshalb das Glastäfelchen mit dem Objecte nicht zu erwärmen und vermeidet so die Bildung von Luftbläschen, die sonst leicht im Balsam auftreten und nur schwer zu beseitigen sind. Zu dieser Auflösnng nimmt man gern einen Canadabalsam, der an der Luft etwas erhärtet ist. Je nach der Beschaffenheit der Objecte kann man die Solution mehr oder weniger flüssig machen. Die Bewahrgläser verschliesst man aber nicht mit einem Stopfen, sondern mit einem den Hals umfassenden Deckelchen, wie eine gewöhnliche Spirituslampe, weil von der Masse sich leicht etwas zwischen den Hals und den Stopfen setzt und das Glas sich dann nur schwer öffnen lässt. Mit einem Glasstäbchen bringt man etwas von der Flüssigkeit aufs Präparat, setzt dieses ein Paar Augenblicke der Luft aus, bis das Chloroform verdunstet ist, und findet man, dass nicht genug Balsam zurückblieb, so bringt man einen frischen Tropfen der Flüssigkeit auf das Präparat, und wiederholt es nöthigenfalls bis eine gehörige Balsamschicht aufliegt.

Mag nun erwärmter oder in Chloroform gelöster Balsam genommen worden sein, das Präparat muss dann ein Deckplättchen bekommen, das mit Vorsicht aufgelegt und gleichmässig angedrückt wird. Man kann dazu einen kleinen Bleicylinder nehmen oder sonst einen der kleinen Drücker, die man von verschiedenen Seiten empfohlen hat, und die sich jeder ohne Mühe selbst bereiten kann: eine Schieberpincette, eine Pincette mit übergreifenden Blättern, einen Quetschhahn, zwei um eine Axe drehbare Stäbchen, deren Enden durch Spiralen am anderen Ende gegen einander getrieben werden, eine Klemmschraube, oder endlich einen kleinen Presser. Die verschiedensten kleinen Modificationen sind hier zulässig; die Hauptsache ist aber immer, dass der Druck vertical auf das Glastäfelchen wirkt, worauf das Object liegt.

Meistens tritt etwas überschüssiger Balsam an den Rändern des Deckplättchens heraus. Hat derselbe die gehörige Härte, die er nach einiger Zeit an der Luft erlangt, so kratzt man ihn mit einem Messerchen weg. Man kann aber auch Alkohol oder noch besser Benzol nehmen, worin sich der Canadabalsam löst, und mit einem baumwollenen oder leinenen Läppchen reibt man dann die Ränder ab.

Objecte, die man in Canadabalsam bewahren will, müssen gehörig


Digitized by Google

frei von Wasser sein, und die an den Oberflächen sitzende Luft, die z. B. bei vielen Insecten zwischen den Härchen und Schüppchen angetroffen wird, muss fortgeschafft werden. Das erreicht man häufig durch Einlegen in absoluten Alkohol. Dessen kann man sich anch bei solchen organischen Geweben bedienen, die an der Luft trockneten und einschrumpften und dadurch an ihrer Form viel einbüssten. Bewirkt man die Wasserentziehung bei derartigen Objecten in der Weise, dass man sie erst in einen schwachen, dann in einen stärkeren, und zuletzt in absoluten Alkohol legt, so schrumpfen sie weniger zusammen und erleiden eine viel geringere Formveränderung. Bringt man dann das mit Alkohol durchzogene Object in Terpentinöl, so verdrängt dieses den Alkohol und nun kann das Präparat in Canadabalsam kommen. Diese Methode wurde zuerst von Lockhart Clarke (*Phil. Transact.* 1858) für Gehirn- und Rückenmarkspräparate empfohlen. Sie passt aber auch für die meisten anderen Organe nnd im Besondern eignet sie sich zur Bewahrung der Injections- und Imbibitionspräparate.

3. Eine durch Destillation mit Wasser erhaltene wässerige Kreosotsolution, oder die filtrirte und gesättigte Solution von Kreosot in einem Gemisch von 1 Thl. Alkohol von 32° mit 20 Theilen Wasser. Beide passen ganz gut für alle Präparate von Muskeln, Bindegewebe, Sehnen, Knorpel, für Durchschnitte von Knochen und Zähnen, die mit Sänren ausgezogen sind, für die Fasern der Krystalllinse u. s. w. Zum Aufbewahren des Fettgewebes, der Nervenprimitivröhren, der Blutkörperchen passt Kreosot nicht.

4. Eine Solution von arseniger Säure, die man so herstellt, dass ein Ueberschuss der Säure mit Wasser gekocht, nach erfolgter Abkühlung filtrirt und dann mit dreimal soviel Wasser verdünnt wird. Diese Solution eignet sich zumeist zum Aufbewahren thierischer Theile; alle in Kreosot aufbewahrbare Theile und ausserdem noch das Fettgewebe lassen sich darin unverändert aufheben. Da die Theile darin gar nicht oder doch nur in mässigem Grade eine gelbe Färbung annehmen, so habe ich dieser Flüssigkeit in den letzten Jahren im Allgemeinen den Vorzng gegeben.

5. Auflösnngen von 1 Thl. Sublimat in 200 bis 500 Thln. Wasser. Die Concentration dieser Solutionen muss zu den aufzubewahrenden Objecten ein gewisses Verhältniss einhalten, und deshalb ist es wohlgethan, wenn man, so lange man den erforderlichen Concentrationsgrad noch nicht aus Erfahrung kennt, mehrere Präparate mit Solutionen von verschiedener Stärke herstellt. Dies gilt namentlich von den Blutkörperchen, die sich unter den von mir geprüften Bewahrmitteln nur allein in Sublimat unverändert erhalten. Für jene des Froschblutes ist eine Solution von $^1/_{400}$ Sublimat erforderlich; für Vögel ist aber $^1/_{300}$, und für die Säugethiere und den Menscheu $^1/_{200}$ nöthig.

Ferner passen diese Solntionen für die Elementartheile des **Gehirns**, des **Rückenmarkes**, der **Netzhaut**, wenngleich diese Theile darin, gleichwie in allen anderen Flüssigkeiten, stets einige Veränderung erleiden.

Knorpel hält sich gut in Sublimat, ebenso die Fasern der Krystalllinse; die übrigen faserigen Gebilde werden aber darin zu undurchsichtig. Nur für die Primitivfasern der Muskeln ist Sublimat zu gebranchen; deren Querstreifen treten darin deutlicher hervor.

Für Präparate **zarter pflanzlicher Gewebe**, für jüngere Organe im Allgemeinen, namentlich solche, worin man **Amylumkörner** und **Chlorophyll** nnbeschädigt erhalten will, desgleichen für **Süsswasseralgen, Diatomeen, Schimmel**, für die **Rotatorien u. s. w.** kenne ich kein besseres Anfbewahrungsmittel als eine Solution von $^1/_{500}$ bis $^1/_{400}$ Sublimat.

6. Auflösungen von **kohlensaurem Kali** in 200 bis 500 Thln. Wasser. Auch hiervon muss man verschieden starke Solutionen haben. Es ist das beste Mittel für die **Nervenprimitivröhren**. Andere faserige Gewebe halten sich darin ziemlich gut, nur werden sie durchsichtiger als im frischen Zustande, was aber oftmals vortheilhaft ist, z. B. wenn man in der Thoraxmuskulatur der Insecten die Luftgefässe nnd deren Verästelnngen besser zur Ansicht bringen will.

7. Eine Solution von **arsenigsaurem Kali** in 160 Thln. Wasser. Eine solche habe ich mehrmals mit gleich gutem Erfolge, wie die vorhergehende, bei **Nervenprimitivröhren** angewendet.

8. **Glycerine** wurde schon vor vielen Jahren von **Warrington** empfohlen, und ist mit Recht in den letzten Jahren als ein für viele Fälle passendes Bewahrmittel in allgemeineren Gebranch gekommen. Sie theilt mit dem Chlorcalcium den Vorzug, dass die darin bewahrten Präparate niemals ganz trocken werden. Natürlich mnss die Glycerine möglichst rein nnd farblos sein, nnd man kann sie in diesem Zustande mit 1 oder mit 2 Thln. Wasser verdünnen. Letzteres ist in den meisten Fällen vorznziehen, weil die reine Glycerine stark lichtbrechend ist, nnd die Ränder der darin verwahrten Körper dadnrch zn blass werden, man müsste denn zugleich ein Dnrchscheinendmachen des Objectes im Auge haben. Die mit Wasser verdünnte Glycerine kann bei pflanzlichen Snbstanzen benntzt werden; doch gebe ich dazu der Chlorcalcinmsolution noch immer den Vorzug, weil die Zellen in Glycerine sich immer bräunen. Von thierischen Geweben halten sich die **Mnskelprimitivbündel** sehr gut darin. Auch die **Knorpelsnbstanz** ändert sich nnr wenig darin. Für **Knochen-** und **Zahnpräparate** kommt Glycerine dem Chlorcalcium gleich. Alle **leimgebenden Gewebe** werden darin ganz durchsichtig, dadurch aber treten die darin verbreiteten elastischen Fasern nnd die Zellen nnr deutlicher hervor, was in einzelnen Fällen vortheilhaft ist. Für Nerven-

Digitized by Google

präparate passt Glycerine weniger, ausgenommen um Durchschnitte des in Weingeist erhärteten und dann an der Luft getrockneten Rückenmarkes anzufeuchten. Man kann solche Schnitte sehr dünn machen, und werden sie mit Glycerine wieder aufgeweicht, so können sie eine allgemeine Uebersicht des Rückenmarksbaues verschaffen und über die relative Lagerung der verschiedenen Elementartheile, der Ganglienzellen, der Fasern u. s. w. belehren. Ganz besonders passt Glycerine für injicirte und imbibirte Präparate, die im feuchten Zustande aufbewahrt werden sollen.

Von mehreren Seiten wurden auch Gemische von Glycerine und Gelatine empfohlen, und dergleichen bewähren sich auch in manchen Fällen, weil sie für feuchte Objecte ungefähr das Nämliche sind, als der Canadabalsam für trockene. Deane nimmt 4 Unzen Glycerine auf 2 Unzen Gelatine, die vorher bei mässiger Wärme in 1 Unze destillirten Wassers gelöst und durch Flanell filtrirt wurde. Farrants hat noch Gummi arabicum und eine gesättigte Lösung von arseniger Säure zugesetzt. Diese Mischungen werden schwach erwärmt und dann ganz wie Canadabalsam angewendet.

C. A. Hantzsch (Reinicke's *Beiträge zur neuern Mikroskopie*. Dresden, 1862. Hft. 3, S. 37) benutzt eine Mischung von 1 Thl. Glycerine auf 2 Thle. Wasser und 3 Thle. Spiritus von 90⁰ Tralles zur Aufbewahrung niederer Algen und kleiner Wasserthiere; er will damit der Contraction der inneren Theile möglichst vorbeugen. Er bringt das Object in einem Tropfen Wasser auf ein Glastäfelchen, setzt einen Tropfen jener Mischung zu, und lässt nun das Präparat einige Zeit an der Luft stehen, damit die Flüssigkeit theilweise verdunstet. Dann wird nochmals ein Tropfen zugesetzt, und auf diese Weise so lange fortgefahren, bis endlich die erforderliche Menge Glycerine zurückgeblieben ist.

9. Eine Solution von Wasserglas, der unrichtig sogenannte Wasserglasfirniss, ist auch zur Bewahrung mikroskopischer Objecte in Gebrauch gekommen, so viel mir bekannt zuerst durch Welcker (*Ueber Aufbewahrung* u. s. w. S. 20), der durch Phoebus darauf aufmerksam gemacht wurde.

Ich habe zu wenig Erfahrung darüber, um ein entscheidendes Urtheil aussprechen zu können. Als Wasserglas kommen auch mehrere Körper im Handel vor, die eine verschiedene chemische Zusammensetzung haben und zur Bewahrung mikroskopischer Objecte wohl von ungleichem Werthe sind. Indessen zweifele ich, dass es einen der bisher aufgeführten Körper als Bewahrmittel ersetzen werde. Freilich lässt es sich eben so benutzen, wie Canadabalsam, nämlich als syrupsdicke Solution, die beim Verdunsten eine dünne Glasschicht hinterlässt, in welche das Object eingeschlossen bleibt. Das passt aber nur für wenige Objecte, und die wirklich passenden, wie Knochen-, Zahn-, Schalenpräparate u. s. w., zeigen die meisten Eigenthümlichkeiten ihres Baues eben so gut in Canadabalsam

oder in Chlorcalcinm. Dazu kommt, dass durch die Verdunstung leere, luftgefüllte Räume entstehen, was bei dem nach der Abkühlung erhärtenden Canadabalsam nnd bei der immer flüssig verbleibenden Chlorcalciumsolntion nicht zu befürchten ist. Durchschnitte von Pflanzen und von weichen thierischen Geweben lassen sich nur in stärker verdünnten Solutionen anfbewahren. Die ersteren halten sich aber besser in Chlorcalcium, und nnter den letzteren ist es eigentlich nur das Sehnen- und Bindegewebe, wofür sich eine solche verdünnte Wasserglassolution besonders gut als Verwahrmittel eignet. Die übrigen Gewebe leiden darin mehr oder weniger, zum mindesten mehr als in der arsenigsauren Solution.

10. Goadby's Flüssigkeit ist unter allen mir bekannten Bewahrflüssigkeiten die passendste für niedere Thiere und deren Gewebe. Salpen, Mednsen, Beroen, Cydippen u. s. w. bleiben darin fast vollständig durchscheinend, auch wenn sie mehrere Jahre darin gelegen haben. Eben so ist sie ein ausgezeichnetes Bewahrmittel für Siphonophoren, Bryozoen, Radiolarien u. s. w. Sie besteht aus 4 Unzen Kochsalz, 2 Unzen Alann und 4 Gran Sublimat, auf 75 Unzen Wasser. Für mikroskopische Präparate nimmt man aber besser die doppelte Quantität Wasser.

Für zarte Proteïnsubstanzen empfiehlt Pacini eine ähnliche Flüssigkeit, worin der Alann durch Glycerine oder Essigsäure ersetzt wird und mehr Sublimat hinzu kommt. Die eine Mischung enthält 1 Thl. Sublimat, 2 Thle. Kochsalz, 13 Thle. Glycerine nnd 113 Thle. Wasser; in der anderen kommt 1 Thl. Sublimat mit 2 Thln. Essigsäure und 13 Thln. Glycerine auf 215 Thle. Wasser. Die Flüssigkeiten werden, wenn sie gemischt sind, erst noch filtrirt, nnd sie können noch mit Wasser verdünnt werden, wenn sie in Anwendung kommen.

Dergleichen Mischungen verdanken ihr Bewahrungsvermögen wohl hauptsächlich dem darin enthaltenen Sublimate, und die anderen Zusätze sollen nur verhüten oder doch wenigstens beschränken, dass die Theile durch den Sublimat ihre Durchsichtigkeit verlieren. Was aber vorhin von der blossen Sublimatsolution erwähnt wurde, dass nämlich der Concentrationszustand der Bewahrflüssigkeit nach den besonderen Geweben sich zu richten hat, das gilt auch von diesen Flüssigkeiten.

11. Chromsäure und doppelt chromsaures Kali in Solution können auch als Bewahrflüssigkeit dienen, mit oder ohne Glycerine. Frey lobt gar sehr eine von H. Müller empfohlene Mischung: 2 bis $2^1/_2$ Thle. doppelt chromsaures Kali, 1 Thl. schwefelsaures Natron, 100 Thle. destillirtes Wasser. Man kann diese Mischung für sich allein anwenden oder mit einem gleichen Volumen Glycerine mischen.

Den Canadabalsam und die syrupsdicke Wasserglassolution ausge- 130
nommen, verlangen alle genannten Bewahrmittel einen Kitt, wodurch die

Digitized by Google

Flüssigkeit von der Luft abgeschlossen wird. Seit langer Zeit benutze ich dazu den sogenannten Goldgrund oder Goldleim, dessen sich die Spiegelvergolder bedienen, um das Goldblatt festzukleben, und der auf folgende Weise zubereitet wird. Man lässt 1 Thl. Mennige und $^1/_3$ Umbra drei Stunden lang mit 25 Thln. Leinöl kochen und giesst dann das Oel ab. Mit diesem Oele wird hierauf ein Gemenge von gleichen Theilen Bleiweiss und gelbem Ocker, beide geschlemmt und ganz fein vertheilt, sehr fein gerieben und gemengt, so dass ein ziemlich dicker Brei entsteht, den man dann noch einmal durchkochen lässt.

Seit vielen Jahren benutze ich aber mit gleich gutem Erfolge den in England allgemein zu diesem Zwecke verwendeten schwarzen Feuerlack, womit die Lackirer den schwarzen Untergrund auf Blech herstellen. Es ist eine Flüssigkeit, die aber so, wie sie von den Lackirern benutzt wird, zu dünn ist, um als Kitt bei mikroskopischen Präparaten verwendet zu werden. Für diesen Zweck muss die Flüssigkeit bei mässiger Wärme eingedickt werden, bis sie bei gewöhnlicher Lufttemperatur die Consistenz eines Syrups bekommt. Wäre die Abdampfung zu lange fortgesetzt und dadurch die Flüssigkeit zu stark eingedickt, so kann man durch Zusatz von etwas Terpentinöl nachhelfen.

Wenig oder gar nicht verschieden hiervon scheint der Asphaltlack zu sein, eine Auflösung von Asphalt in Terpentinöl, der noch etwas Leinöl zugesetzt wird. Der letztere Zusatz verhütet das Entstehen von Sprüngen. Zeigen sich doch dergleichen nach einiger Zeit im Lacke, so darf man nur etwas gekochtes Leinöl zufügen.

Ueber andere Kitte, die noch empfohlen worden sind, habe ich keine eigene Erfahrung. Da der genannte Feuerlack sich in jeder Hinsicht als ein vortrefflicher Kitt bewährt hat, so ist dies Grund genug, bei ihm stehen zu bleiben.

131 Hat man ein Präparat fertig, das in einer vor dem Luftzutritte zu schützenden Flüssigkeit aufbewahrt werden soll, und kann dasselbe einen gewissen Druck ertragen, so verfährt man damit auf folgende Weise.

War das Präparat mit Wasser befeuchtet, wie es bei Untersuchungen so häufig der Fall ist, so entfernt man zuvörderst die überflüssige Feuchtigkeit mittelst einer kleinen Rolle Fliesspapier oder mittelst des oben beschriebenen Pinsels (Fig. 26, S. 76). Die Feuchtigkeit in der Nähe des Präparates wischt man mit einem baumwollenen oder leinenen Läppchen weg, dass die Glasoberfläche ganz trocken wird. Hierauf bringt man die zur Aufbewahrung bestimmte Flüssigkeit auf das Präparat, was sich am besten ausführen lässt, wenn jene Flüssigkeit in Spritzfläschchen aufbewahrt wird. Die Flüssigkeitsmenge muss so bestellt sein, dass der Raum unter dem Deckplättchen späterhin ganz damit gefüllt ist, worin man sich bald die gehörige Uebung aneignet. Nun kommt ein Deck-

plättchen, welches ein Paar Millimeter kleiner ist als das Objecttäfelchen, mitten unter das letztere, d. h. unter jenen Theil, der weiterhin damit bedeckt werden soll. Jetzt taucht man einen Pinsel in den Kitt und zeichnet damit um die Flüssigkeit und das darin liegende Object herum ein Viereck, dergestalt, dass der Kitt 1 bis 2 Millimeter über die Ränder des Deckplättchens nach innen reicht. Hierauf kommt das Deckplättchen auf das Object zu liegen, und zuletzt werden auch seine Ränder noch mit Kitt bestrichen. Ist zu viel Flüssigkeit darin, so bahnt sich das Ueberflüssige einen Weg und es entsteht eine Oeffnung in dem Kitte unter dem Deckplättchen; dieses legt sich aber späterhin wieder an, wenn man das Bestreichen noch einmal wiederholt, nachdem die überschüssige Flüssigkeit entfernt worden ist oder eintrocknete.

Nach ein Paar Tagen ist die äusserste Schicht des Kittes trocken geworden, während die inneren Schichten noch Wochen und Monate lang weich bleiben, und gerade das bedingt sein gutes Schliessungsvermögen; denn es entstehen so niemals Sprünge in demselben, wodurch die Flüssigkeit verdunsten könnte. Eine Menge von Präparaten, die ich auf diese Weise schon vor vielen Jahren anfertigte, haben sich ganz unverändert erhalten. Eine Hauptsache dabei ist, dass der Kitt den Raum zwischen dem Deckplättchen und dem Objecttäfelchen zum Theil erfüllt; das blosse Bestreichen der Ränder des Deckplättchens ist nicht ausreichend.

Ist nach der Beschaffenheit des Objectes ein Druck unzulässig, dann 132
muss dasselbe in einem dazu bestimmten kleinen Troge aufbewahrt werden. Wie dieselben aus Kautschuk, aus Guttapercha, aus Glas oder Papier sich herstellen lassen, ist bereits oben (§. 51) angegeben worden. Die Tiefe des zu benutzenden kleinen Apparates wird natürlich ganz durch die Dicke des Objectes bedingt; das Deckplättchen muss aber auch hier etwas kleiner sein. Zuerst giebt man etwas von der Bewahrflüssigkeit in den kleinen Trog, hierauf legt man das Object hinein und bestreicht die oberen Ränder mit dem dort ebenfalls beschriebenen Guttaperchaleim. Nun füllt man den kleinen Trog ganz, so dass die Flüssigkeit etwas gewölbt den Rand überragt; beim Auflegen des Deckplättchens läuft daher die überschüssige Flüssigkeit ab und alle Luft aus dem kleinen Troge ist fortgeschafft. Zuletzt bestreicht man die getrockneten Ränder noch mit einer dicken Schicht Kitt, was nach ein Paar Tagen wiederholt wird.

Diese Verschlussart passt besonders, wenn Injectionspräparate in Flüssigkeiten aufbewahrt werden sollen.

Recht gut ist auch die Welcker'sche Methode, dass man zur Seite des Deckplättchens, 3 bis 4 Millimeter von seinem Rande, einen 2 bis 3 Millimeter breiten Glasstreifen aufklebt, mit dem oben beschriebenen Kitte oder mit Canadabalsam. Das Präparat wird hierdurch gegen Druck

geschützt, und man kann bei Versendungen mehrere solche Präparate über einander legen.

133 Wer sich mit solchen Präparaten beschäftigt, der muss natürlich darauf gefasst sein, dass einzelne nach Verfluss einer kürzeren oder längeren Zeit durch irgend eine Ursache missrathen gefunden werden. Indessen werden es nur wenige sein, wenn die vorstehenden Vorschriften befolgt worden sind. Findet man die Präparate nach einigen Monaten noch gut, so kann man nun daran denken, sie zu etikettiren, zu numeriren und in den betreffenden Katalog einzutragen. Wo kein Kitt dabei ist, also bei den trockenen und in Canadabalsam aufbewahrten Präparaten, da braucht man blos ein farbiges Papier aufzukleben, was zur Nettigkeit und zum besseren Aussehen beiträgt.

In der letzten Zeit bin ich mehr und mehr zweifelhaft darüber geworden, ob es rathsam sei, auch die übrigen mit einem Kitt versehenen Präparate auf gleiche Weise zu überkleben. Durch den wechselnden Wärme- und Feuchtigkeitsgrad der Luft schrumpft das Papier periodisch zusammen und schwillt wieder auf, so dass es abwechselnd mehr oder weniger auf das Deckgläschen drückt, und durch diese andauernden Bewegungen kann leicht eine Beschädigung des Kittes eintreten. Hierin finde ich wenigstens den eigentlichen Grund, weshalb manche Präparate, die solchergestalt mit Papier überklebt waren, nachdem sie sich Jahre lang unverändert erhalten hatten, zuletzt doch noch vertrockneten. Werden die Präparate nicht überklebt, so kann man auch noch zur Vorsicht von Zeit zu Zeit eine frische Schicht Kitt auftragen.

Hat man viele derartige Präparate gesammelt, so kann man sie in besonderen Kästen aufbewahren, die natürlich nur eine geringe Tiefe haben dürfen. Es ist aber gut, wenn alle jene Präparate, bei denen eine Flüssigkeit als Bewahrmittel dient, zu liegen kommen. Am einfachsten ist es, wenn in jedes Kästchen eine mit weissem Papier überklebte Pappe kommt, aus welcher in gehörigen Entfernungen länglich-viereckige Streifen ausgeschnitten sind, nach der Form der Objecttäfelchen, nur etwas grösser. Auf die Hinterseite der Pappe ist schwarzes Papier geklebt, dessen schwarze Oberfläche nach innen sicht. So hat man eine Anzahl Fächer, in deren jedes ein Präparat kommt. Mittelst eines seitlich angebrachten Stückchens Band kann das Präparat leicht herausgehoben werden.

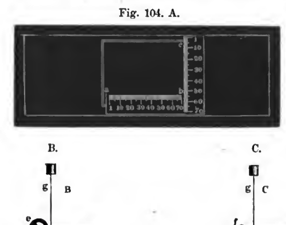
134 Es kann wünschenswerth sein, bei Präparaten genau die Stelle anzugeben, wo sich irgend ein kleines, dem blossen Auge nicht sichtbares Körperchen befindet, damit man dasselbe späterhin sogleich ohne Mühe wieder finden und auch gewiss sein kann, dass es wirklich das früher gesehene ist.

Dieses Bedürfniss hat mehrfach Veranlassung gegeben, einen Indi-

cator oder Finder auszudenken. Ueber diesen Punkt muss ich aber auf den folgenden Band verweisen, da zusammengesetzte Einrichtungen, wohin diese Finder doch in mehr oder weniger hohem Grade zu gehören pflegen, sich durchaus nicht als praktisch brauchbar bewähren.

Dagegen macht ein einfaches Mittel, dessen ich mich seit mehreren Jahren bediene, alle dergleichen Einrichtungen ganz überflüssig. Das ist der in Fig. 104 abgebildete Indicator. Am vorderen Rande sowie

Fig. 104. A.



Harting's Indicator.

an dem rechtssehenden Rande des Deckplättchens werden Papierstreifchen (*A. ab* nnd *bc*) aufgeklebt mit einer Theilung, wie auf einem Maassstabe. Um nicht genöthigt zu sein, immer wieder eine solche getheilte Scala mit der Feder zu zeichnen, habe ich sie lithographiren lassen. Jede von den kleinen Abtheilnngen ist $^1/_3$ Millimeter gross. Die Rückseite der Streifen wird mit Gummiwasser bestrichen. Man braucht daher bei der Benutznng nur die getheilten Scalen mit einer Scheere abzuschneiden, anzufeuchten und aufzukleben.

Die Stelle, wo sich das fragliche Körperchen befindet, bestimmt man mittelst dieser zwei Scalen ganz ebenso, wie bei Ortsbestimmnngen unseres Erdballes: die Länge und Breite des bestimmten Punktes wird durch zwei Coordinaten, d. h. durch zwei einander rechtwinkelig schneidende Linien angegeben, die mit den Rändern des Deckglases und des Objecttäfelchens parallel sind. Kennt man die beiden Punkte, wo beide Linien die auf das Deckplättchen geklebten getheilten Scalen schneiden, so ist

nun ein für alle Mal die Stelle des Körperchens durch zwei Zahlen bezeichnet, die man einträgt. Man kann dazu jedes rechtwinkelig geschnittene Stückchen Papier nehmen, dessen den rechten Winkel einschliessende Ränder beim Auflegen auf das Deckplättchen die beiden Scalen senkrecht schneiden, während die Ecke ganz genau der gesuchten Stelle entspricht. Schickt man ein solches Präparat einem anderen zu und giebt die beiden Zahlen der Scalen an, wodurch die Stelle des Objectes signirt wird, so braucht der Empfänger nur ein genau rechteckig geschnittenes Stück Papier auf die nämliche Weise auf das Präparat zu legen, und er findet nun sicher an der Ecke des Papieres das Object.

Zum ersten Auffinden der Stelle des Objectes in der Mitte des mikroskopischen Gesichtsfeldes eignet sich aber ein Stückchen Papier nicht so gut als ein messingenes Täfelchen. Denn wenn das erstere dünn ist, so kann es sich leicht biegen und Falten bilden, so dass es nicht ganz eben auf dem Deckplättchen aufliegt und sich auch nicht gut festhalten lässt. Deshalb ziehe ich ein viereckiges messingenes Täfelchen (*B*) vor, welches an den zum Gebrauche bestimmten, die rechtwinkelige Ecke umschliessenden Seiten scharf zugefeilt ist. Um es festzuhalten, ist eine kleine, länglich viereckige Leiste (*d*) darauf gelöthet, die schief steht. Wird diese mit einer Pincette gefasst und das Täfelchen unterm Mikroskope rechtwinkelig auf das Deckplättchen gelegt, so kommt die günstigste Stellung für die Hand heraus, die man übrigens dabei mit Vortheil auf eine Unterlage stützen wird.

Statt der scharfen Ecke, die leicht abgestumpft werden könnte, hat übrigens das Täfelchen einen kleinen ringförmigen Ansatz (*B. e*), der nur dazu dienen soll, eine kleine Spitze oder einen Weiser zu schützen, dessen Ende gerade dem Punkte entspricht, wo die beiden die rechtwinkelige Ecke einschliessenden Ränder in der Verlängerung zusammentreffen würden.

Gleich gut, wenn nicht vielleicht selbst noch besser, ist die bei *C* dargestellte Einrichtung. Hier hat der kleine ringförmige Ansatz (*f*) eine ganz feine runde Oeffnung von etwa $^1/_5$ Millimeter, dessen Mittelpunkt eben jene Stelle bezeichnet.

Endlich muss ein solches Täfelchen noch zwei Gegengewichte (*g* und *h*) haben, damit es nicht vom Deckplättchen fällt, wenn sich das Object weit von der Mitte entfernt befindet. Diese Gegengewichte sind aber nichts anderes, als feine Messingdrähte mit kleinen kurzen Cylinderchen am freien Ende, und schwach abwärts gebogen.

Hat man sich mit einem solchen Täfelchen als Finder etwas geübt, so hält es nicht schwer, bei Vergrösserungen von 50 bis 200 Mal, ja noch mehr, die Stelle genau genug damit zu bestimmen, so dass man um weniger als $^1/_3$ Millimeter in beiden Richtungen, also bis auf $^1/_9$ Quadratmillimeter sicher ist. Das ist für den gestellten Zweck ganz genügend.

Digitized by Google

Diese Einrichtung entspricht also den Forderungen eines allgemeinen Indicators aufs Vollständigste und sie macht alle übrigen derartigen Vorkehrungen überflüssig. Man kann sie auch im Verlaufe einer gewöhnlichen Untersuchung benutzen, wo man nach einander eine Reihe von Präparaten anfertigt, nicht gerade in der Absicht, dieselben alle in die Sammlung aufzunehmen.

Einfacher und praktischer ist aber dann noch eine andere Methode, mit der ich durch H. Hoffmann bekannt wurde. Dieser hat nämlich auf den Objecttisch seines Mikroskopes, zu beiden Seiten der Oeffnung, zwei Kreuze eingeschnitten, das eine so geformt (×), das andere so geformt (+). Hat man nun etwas im Gesichtsfelde, was man späterhin schnell wieder dahin zu bringen wünscht, so werden mit Tinte, besser noch mit einem Schreibdiamanten zwei ähnliche Kreuze, gerade über jenen des Objecttisches, auf das Glastäfelchen gezeichnet, und damit ist die Stelle des Objectes fixirt. Wird nämlich das Glastäfelchen späterhin wieder so auf den Objecttisch gebracht, dass die gleichen Kreuzungspunkte einander decken, wobei die verschiedene Gestalt der Kreuze über den vorderen und hinteren Rand des Täfelchens hinreichenden Aufschluss giebt, dann muss auch das Object wiederum so ziemlich in seiner frühern Stellung sein.

Endlich will ich noch ein Verfahren erwähnen, das sich bei 135
Demonstrationen sehr vortheilhaft bewährt, wenn man einem, der durchs Mikroskop sieht, ein Object oder einen Theil eines Objectes anzeigen will. Dasselbe beruht auf dem nämlichen Principe, welches ich für die Flächenmessung in Anwendung gezogen habe (S. 268); es wird nämlich mittelst des achromatischen Beleuchtungsapparates im Gesichtsfelde ein Bild hervorgerufen, welches gleichzeitig mit dem Objecte zur Ansicht gelangt.

Das lässt sich auf verschiedene Art erreichen. Man zeichnet z. B. auf eine Fensterscheibe, wodurch Licht aufs Mikroskop fällt, mit Tinte oder noch besser mit schwarzer Farbe ein viereckiges Feld oder einen kleinen Kreis, oder auch mehrere, die alle mit einer Zahl versehen sind. Durch Bewegung des ebenen Spiegels und der achromatischen Linse oder des achromatischen Linsensystems, die sich unter dem Objecttische befinden, kann man dann ihre Bilder auf jene Punkte des Gesichtsfeldes bringen, welche betrachtet werden sollen. Statt der auf Glas gezeichneten Figuren kann man auch eine Metallnadel verwenden, die auf die eine oder die andere Weise in die Bahn der Lichtstrahlen gebracht wird, so dass ihr Bild im Gesichtsfelde erscheint, wo dann die Spitze dem bestimmten Punkte zugekehrt wird.

Es sind natürlich noch mancherlei Modificationen hierin möglich, die für besondere Fälle in Anwendung kommen können. Nur bei sehr

starken Vergrösserungen könnte dieses Verfahren weniger gut zu passen scheinen, weil dann die Bilder, welche als Indicatoren dienen, selbst zu gross werden und dabei auch an Schärfe verlieren.

Dem ersteren Uebelstande lässt sich auf eine dreifache Weise abhelfen:

a. man verkleinert das Object, von welchem ein Bild entworfen wird, also das kleine Viereck, den Kreis, die Nadel u. s. w.;

b. man nimmt ein stärkeres Linsensystem in den Beleuchtungsapparat;

c. man vergrössert die Entfernung zwischen Object und Mikroskop.

Der zweite Uebelstand ist aber noch weniger erheblich. Hat auch das Bild bereits alle Schärfe verloren, so dass seine Ränder ganz nebelartig erscheinen, so ist es doch für den Zweck, wozu es hier gebraucht wird, selbst bei einer 500- bis 600maligen Vergrösserung, noch mit ausreichender Deutlichkeit wahrnehmbar.

Berichtigungen.

Seite 47 Zeile 20 von oben ist zu lesen: Mikroskope, so dass die Beiziehung u. s. w.
Seite 48 ist im Columnentitel zu lesen: Objecte.

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

Digitized by Google

DAS

MIKROSKOP.

THEORIE, GEBRAUCH, GESCHICHTE

UND

GEGENWÄRTIGER ZUSTAND DESSELBEN

VON

P. HARTING,
Professor in Utrecht.

DEUTSCHE ORIGINALAUSGABE,

VOM VERFASSER

REVIDIRT UND VERVOLLSTÄNDIGT.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. FR. WILH. THEILE,
Grossherzoglich Sächsischem Medicinalrathe.

IN DREI BÄNDEN.

DRITTER BAND.

Geschichte und gegenwärtiger Zustand des Mikroskopes.

Zweite wesentlich verbesserte und vermehrte Auflage.

MIT 466 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN
UND EINER TAFEL IN FARBENDRUCK.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.
1866.

GESCHICHTE

UND

GEGENWÄRTIGER ZUSTAND

DES

MIKROSKOPES

SOWIE DER

HÜLFSAPPARATE

BEI

MIKROSKOPISCHEN UNTERSUCHUNGEN.

VON

P. HARTING,
Professor in Utrecht.

DEUTSCHE ORIGINALAUSGABE,
VOM VERFASSER
REVIDIRT UND VERVOLLSTÄNDIGT.

HERAUSGEGEBEN
VON

Dr. FR. WILH. THEILE,
Grossherzoglich Sächsischem Medicinalrathe.

Zweite wesentlich verbesserte und vermehrte Auflage.

MIT 231 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.
1866.

Digitized by Google

Die Herausgabe einer Uebersetzung in französischer und englischer Sprache, sowie in anderen modernen Sprachen wird vorbehalten.

Digitized by Google

Inhaltsverzeichniss des dritten Bandes.

Digitized by Google

Digitized by Google

Achter Abschnitt.

Neunter Abschnitt.

Digitized by Google

Zur gründlichen Erforschung eines Dinges bieten sich meistens zwei Wege dar: einmal die genaue und allseitige Feststellung des Zustandes, worin dasselbe im Augenblicke der Untersuchung sich gerade befindet, und zweitens die Nachforschung, wie der gegenwärtige Zustand des Dinges aus dem früheren sich allmälig entwickelt hat. 1

Namentlich gilt dies von den für naturwissenschaftliche Zwecke verwendeten Instrumenten. Alle solche Instrumente haben ihre eigene Geschichte, die eine wahre Entwickelungsgeschichte heissen kann, und man darf wohl behaupten, dass nichts besser dazu geeignet ist, über die Bedeutung und die Bestimmung der einzelnen Theile eines solchen Instrumentes klare Einsicht zu verschaffen, als wenn man untersucht, wie dieselben im Verlaufe der Zeit durch stufenweise Verbesserungen ihre Vervollkommnung erlangten.

Es würde nicht schwer fallen, an verschiedenen Instrumenten die Wahrheit dieses Satzes nachzuweisen; doch dürfte vielleicht kein anderes so deutliche Beweise für dessen Richtigkeit bieten, als das Mikroskop.

Wenn im ersten Bande die verschiedenen Arten von Mikroskopen nur im Allgemeinen betrachtet und beschrieben worden sind und dabei absichtlich der von dem einen oder dem andern Optikus gefertigten Instrumente nur in so weit gedacht wurde, als dies zum gehörigen Verständniss der Sachen gerade erforderlich war, so ist dieser dritte Band der besondern Beschreibung der Mikroskope und der bei mikroskopischen Untersuchungen benutzten Instrumente gewidmet, vom ersten Zeitpunkte ihrer Verfertigung an bis auf den heutigen Tag. Das Instrument, welches in den Händen der heutigen Naturforscher ein so mächtiges Hülfsmittel geworden ist, um damit in die geheimsten Schlupfwinkel der Schöpfung einzudringen, soll von seinem ersten Auftreten an durch die verschiedenen Entwickelungsstadien, die es nacheinander durchlaufen hat, verfolgt werden bis zu jener hohen Stufe der Vollkommenheit, auf der wir es jetzt angelangt sehen.

Digitized by Google

Eine solche Geschichte ist nicht bloss insofern lehrreich, als sie zu einer genauen Kenntniss des Instrumentes selbst und seiner einzelnen Theile verhilft, sondern auch schon als Abschnitt der allgemeinen Kulturgeschichte der Menschheit. Die successiven Verbesserungen am Mikroskope sind meistens nur getreue Spiegel der jeweiligen praktischen Mechanik und der Fortschritte in der Optik.

Ein Paar Male werde ich im Verlaufe dieser historischen Darstellung auf vergebliche Bestrebungen, auf fruchtlose Versuche zu reden kommen. Mit Stillschweigen durfte ich dieselben nicht übergehen, denn alle diese Versuche haben doch einen gewissen Grund, und es ist ganz gut, wenn man nachträglich den Ursachen nachgeht, auf welche das Missglücken dieses oder jenes Versuchs zurückzuführen ist. Ueberdies findet gerade hier das von einem grossen Dichter ausgesprochene Wort seine volle Anwendung: Alles menschliche Wissen geht nicht in gerader Linie vorwärts, sondern stets in einer Spirale.

Eine solche historische Durchmusterung hat noch eine andere anziehende Seite. Sie giebt uns Gelegenheit, den Zoll der Dankbarkeit an jene abzutragen, durch deren Verstand und Thätigkeit wir mit den Mitteln ausgerüstet worden sind, unsere Kenntnisse zu bereichern und mitzuwirken zur Ausbreitung des Wissens über die Natur und deren Erscheinungen. Wir stehen auf jener Schultern und sollen dies nie vergessen.

2 In der Geschichte des Mikroskopes lassen sich vier Perioden unterscheiden.

Zur ersten Periode zählt, was von den frühesten Zeiten her über die Mittel zur Vergrösserung der Objecte bekannt gewesen ist. Sie reicht ungefähr bis zum Jahre 1300 unserer Zeitrechnung, da um diese Zeit etwa die Eigenschaften der convexen und concaven Linsen und die Mittel zu ihrer Darstellung allgemeiner bekannt wurden.

Die zweite Periode reicht etwa bis zum Jahre 1600, wo das zusammengesetzte Mikroskop erfunden wurde und man auch anfing, die Lupe oder das einfache Mikroskop zu Untersuchungen zu benutzen.

Die dritte Periode endigt mit dem Jahre 1824, wo man zuerst die richtigen Mittel in Anwenduug brachte, das Mikroskop von der sphärischen und chromatischen Aberration zu befreien, wenngleich schon früher zum Theil recht gut berechnete Versuche vorausgegangen waren.

Die vierte Periode reicht bis auf die gegenwärtige Zeit.

3 Man darf aber nicht vergessen, dass das Wort Mikroskop eigentlich eine Collectivbezeichnuug ist. Man begreift darunter verschiedene Instrumente, die alle darin übereinstimmen, dass sie ein vergrössertes Bild kleiner Gegenstände hervorbringen können, sonst aber mancherlei Verschiedenheiten zeigen, namentlich was ihre Zusammensetzung betrifft, so wie

die Zwecke, die damit erreicht werden sollen. Jedes dieser Instrumente hat daher bis zu einem gewissen Punkte hin seine eigene Geschichte.

Um die historische Uebersicht zu erleichtern, werde ich mich deshalb im Folgenden nicht streng an die Eintheilung in vier Perioden halten. Es scheint mir passender, wenn ich zuerst mittheile, welche Mittel im Alterthume bekannt waren, um Gegenstände vergrössert zu sehen; hierauf werde ich über die Entdeckung der convexen und concaven Linsen und deren Vereinigung zum zusammengesetzten Mikroskope handeln; weiterhin werde ich die als Mikroskop benannten Instrumente einzeln durchgehen; zum Schlusse aber sollen die verschiedenen zur mikroskopischen Untersuchung benutzten Apparate betrachtet werden, sowie die Methoden der Zubereitung und der Aufbewahrung mikroskopischer Objecte.

Digitized by Google

Erster Abschnitt.

Die im Alterthume benutzten Vergrösserungsmittel.

---

4 Im ersten Bande (§. 16 und 42) ist dargethan worden, dass auf zwiefache Art ein vergrössertes Bild eines Gegenstandes erlangt werden kann: mittelst durchsichtiger Körper mit gewölbter Oberfläche und mittelst concaver Spiegel. Die dioptrische Methode sowohl als die katoptrische hat man beim Mikroskope in Anwendung gezogen, und wir haben nun nachzusehen, was die Alten davon gewusst haben.

5 Die Kunst, aus Glas und anderen durchsichtigen Körpern convexe und concave Linsen zu schleifen, führt auf eine weit ältere Kunst zurück, auf das Steinschleifen im Allgemeinen. Dieses war schon im hohen Alterthume den Völkern im Oriente sowie den Aegyptern bekannt, und von diesen gelangte es nach Griechenland und nach Italien, worüber die besonderen Schriften über das Schleifen und Steingraviren bei den Alten von Vettori, Natter, Lippert, Klotz, sowie Lessing's antiquarische Briefe nachzusehen sind. Es ist hinlänglich bekannt, bis zu welcher bewundernswürdigen Höhe die Alten in der Anfertigung von Intagli und Cameen, die noch jetzt die Zierden von Antiquitätensammlungen sind, sich erhoben haben; dem Graviren der dazu benutzten Steine musste aber immer ein Schleifen und Poliren der Oberfläche vorausgehen. Sie verstanden aber auch eben so gut, edeln Steinen, die nicht zum Graviren verwandt wurden, durchs Schleifen verschiedene Formen zu geben. Plinius (*Hist. nat.* Lib. 37, Cap. 12) drückt sich über die verschiedenen

Digitized by Google

Formen, welche man den Edelsteinen gab, folgendermaassen aus: *Cavae aut extuberantes viliores videntur aequalibus; figura oblonga maxime probatur, deinde quae vocatur lenticula, postea epipedos et rotunda, angulosis autem minima gratia.*

Dass die alten Künstler nicht bloss gerade Flächen schliffen, sondern den Steinen auch die Form convexer und concaver Linsen gaben, kann man in den Sammlungen sehen. Es kommen hier Steine mit beiderlei Formen vor, deren Alter nach Lippert auf mehr denn 3000 Jahre zu schätzen ist.

Manche von diesen linsenförmigen Steinen bestehen aus Bergkrystall, andere aus Beryll; sie sind daher durchscheinend. Das hohe Alterthum linsenförmig geschliffener Stücke Bergkrystall wird auch ganz sicher dadurch dargethan, dass Layard eine derartige planconvexe Linse in den Ruinen von Niniveh gefunden hat, mitten unter bronzenen und sonstigen kostbaren Gegenständen. Brewster zeigte diese Linse im Jahre 1852 in der Versammlung der *British Association* vor. Sie ist nicht ganz rund, sondern hat 1,6 engl. Zoll in dem einen Durchmesser, 1,4 engl. Zoll in dem andern. Die gerade Fläche entspricht einer der ursprünglichen Krystallflächen, wie man aus der Einwirkung auf das polarisirte Licht entnehmen kann. Die Form der convexen Oberfläche berechtigte Brewster zu dem Schlusse, dass der Schliff nicht in einer näpfchenförmigen Aushöhlung, sondern auf einem Steinschleiferrade oder einem ähnlichen Apparate ausgeführt worden ist. Die Linse ist 0,2 Zoll dick, und ihre Brennweite beträgt 4,2 Zoll.

Dass man zu Anfang unserer Zeitrechnung convexe Gläser geschliffen hat, scheint aus einer Mittheilung des Dr. van Vollenhoven zu erhellen, der unterm 21. April 1859 auf einer italienischen Reise an meinen verstorbenen Freund und Collegen Schroeder van der Kolk Folgendes schrieb: „Im Museum von Neapel, das Sie meiner besonderen Beachtung „empfahlen, habe ich ein convexes Glas gesehen, das im vorigen Jahre in „Pompeji ausgegraben worden ist. Es ist das einzige bisher gefundene, „und so verwittert und gebrochen, dass sich seine Stärke nicht genau an„geben lässt; es dient aber doch zum Beweise, dass Vergrösserungsgläser „benutzt worden sind. Es ist etwas grösser als ein Reichsthaler. Erst „auf besondere Nachfrage wurde es mir vom Custos gezeigt; ich bekam „es aber nicht in die Hand, sondern es blieb hinter Verschluss, gleich den „meisten dortigen Werthgegenständen.“ Ist auch aus diesem Berichte noch nicht mit Sicherheit zu entnehmen, dass der fragliche Körper aus Glas und nicht aus einer anderen durchscheinenden Masse besteht, so wird dies doch wenigstens durch den Umstand sehr wahrscheinlich gemacht, dass die Oberfläche sehr verwittert war, was Dr. van Vollenhoven mir späterhin auch noch mündlich bestätigt hat. Eine nähere Untersuchung und Beschreibung dieses alten Kunstproductes wäre zu wünschen.

Digitized by Google

Es ist wohl kaum einem Zweifel unterworfen, dass jene, die solche linsenförmige durchsichtige Steine oder Gläser anfertigten, auch deren vergrössernde Kraft wahrgenommen haben müssen. Gleichwohl findet sich in den Schriften der Alten nirgends ein Beweis dafür. Priestley (*The history and present state of Discoveries relating to vision, light and colours.* London 1772, p. 8) bemerkt über diese geschliffenen linsen- und kugelförmigen Steine, die er aus nicht näher entwickelten Gründen als den Druiden zugehörig ansieht, Folgendes: „Sie sind aus Bergkrystall in verschiedenen Formen gemacht; es kommen sphärische darunter vor und auch linsenförmige. Sie sind zwar nicht ganz vollkommen ausgeführt, dass sie alles leisten könnten, was bei einer genaueren Arbeit von ihnen zu erwarten wäre; aber die Arbeit ist doch so weit gelungen, dass man unmöglich annehmen kann, ihre Wirkung, wenigstens ihre Vergrösserung, hätte denen unbekannt bleiben können, die öfters damit verkehrten, wenn nicht vielleicht gar die sphärischen oder linsenförmigen ausdrücklich dazu bestimmt waren, als Vergrösserungs- oder Brenngläser benutzt zu werden."

Nur eine Stelle kommt bei den Alten vor, die darauf hindeutet, dass eine Linse als dioptrisches Hülfsmittel benutzt wurde. In Vettori's *Diss. glyptographica.* Rom. 1739, ist zuerst auf folgende Stelle bei Plinius (Lib. 37, Cap. 5) hingewiesen, wo vom Smaragde die Rede ist: *Praeterea longinquo amplificantur visu inficientes circa se repercussum aëra, non sole mutati, non umbra, non lucernis, semperque sensim radiantes et visum admittentes, ad crassitudinem sui facilitate translucida, quod etiam in aquis nos juvat. Iidem plerumque concavi, ut visum colligant; quamobrem decreto hominum iis parcitur scalpi vetitis, quamquam Scythicorum Aegyptiorumque duritia tanta est, ut non queant vulnerari. Quorum vero corpus extensum est, eadem qua specula ratione supinis rebus imaginem reddunt. Nero princeps gladiatorum pugnas spectabat in smaragdo.* Es ist diese Stelle insofern etwas dunkel, als nicht mit Bestimmtheit daraus entnommen werden kann, ob Nero's Smaragd hohl geschliffen war, oder ob er zu denen gehörte, „*quorum corpus extensum est*", die also nicht hohl, sondern geradflächig waren. Da nun aber angegeben wird, dass die letzteren als Spiegel gebraucht werden konnten, und es von Nero heisst, er habe hindurchgesehen, so ist es wahrscheinlicher, dass Nero einen hohlgeschliffenen Smaragd besass, der in der Mitte dünn genug war, dass man hindurchsehen konnte. Berücksichtigt man ferner, dass Suetonius (Nero, Cap. 51) dem Nero ein schwaches und stumpfes Gesicht (*oculis caesiis et hebetioribus*) zuschreibt, Plinius (Lib. 11, Cap. 37, Sect. 54) aber von dem Myopen Nero spricht (*Neroni nisi quum conniveret ad prope admota [oculi] hebetes*), so wird man es in der That sehr wahrscheinlich finden, dass hier das erste Beispiel vorliegt, wo eine Hohllinse zu dem Zwecke benutzt wurde, wofür man auch jetzt noch eine Brille mit Hohlgläsern oder eine Lorgnette zu gebrauchen pflegt.

Geschieht nun auch der Vergrösserung durch Linsen in den Schriften der Alten sonst nirgends Erwähnung, so hatte man diese Erscheinung doch an hohlen, mit Wasser gefüllten Kugeln wahrgenommen. Der im ersten Jahrhunderte unserer Zeitrechnung lebende Seneca (*Nat. Quaest.* Lib. I, Cap. 3) sagt: *Poma per vitrum adspicientibus multo majora sunt*, und daran reiht sich in gewisser Beziehung eine weiterhin (Cap. 6) vorkommende Stelle: *Poma formosiora quam sunt videntur, si innatant vitro.* Ferner sagt er auch in demselben sechsten Kapitel: *Literae quamvis minutae et obscurae per vitream pilam aqua plenam majores clarioresque cernuntur.* Man würde aber sehr irren, wenn man daraus schliessen wollte, Seneca bringe die Erscheinung auf Rechnung der kugeligen Gestalt des Gefässes. Denn unmittelbar vorher heisst es: *Illud adjiciam, omnia per aquam videntibus longe esse majora.* Die eigentliche Ursache der Vergrösserung findet er also im Wasser.

Ueber das Vorkommen geschliffener Gläser bei den Alten fehlt es nicht an beweisenden Stellen. So bemerkt Plinius (Lib. 37, Cap. 7 u. 8) wiederholt, es würden falsche Diamanten aus Glas gemacht. Bei Seneca (l. c. Cap. 7) liest man aber: *Virgula solet fieri vitrea ....; haec si ex transverso solem accipit, colorem talem qualis in arcu videri solet reddit*, und weiterhin: *si apta fabricata foret, totidem redderet soles, quot habuisset inspectiones (insecturas?)* Hier ist offenbar von einem mit Kanten versehenen Stabe die Rede, der nicht durch Blasen diese Form angenommen haben konnte, sondern entweder durch Schleifen oder durch Giessen. Noch deutlicher übrigens spricht sich Plinius (Lib. 36, Cap. 26) aus, wo er vom Glase handelt: *Aliud flatu figuratur, aliud torno teritur, aliud argenti modo coelatur, Sidone quondam his officinis nobili, si quidem etiam specula excogitaverat. Haec fuit antiqua ratio vitri.*

Aus anderen Stellen ersieht man, dass die Alten noch früher im Besitze von Brenngläsern gewesen sind. So hat Delahire (*Hist. de l'Acad. royale*, 1708) nach Smith (*Opticks* II, p. 15) zuerst darauf aufmerksam gemacht, dass bei Aristophanes, der im fünften Jahrhundert vor Christus lebte, und zwar in dessen Wolken (Act. 2, Sc. 1), eines damals gut bekannten Glases Erwähnung geschieht, um mit Hülfe der Sonnenstrahlen Papier in einiger Entfernung in Brand zu stecken. Andere Stellen, welche für das Vorkommen von Brenngläsern bei den Alten sprechen, findet man bei Waller (*Philos. Exper. and Observ. by Hooker* etc. p. 348) gesammelt, der daraus den Schluss zieht, die erwähnten Brenngläser seien keine convexen Linsen, sondern vollkommene Kugeln gewesen, und einerseits hätten sie die Chirurgen als Cauterisationsmittel benutzt, andererseits die Vestalinnen, um ihr Feuer anzuzünden. Aus der Stelle bei Aristophanes folgert aber Delahire mit Recht, das Glas, wovon dort die Rede ist, könne keine Kugel gewesen sein, sondern eine Linse, weil das Papier in einiger Entfernung in Brand gesteckt werden soll, was ja

kaum auf eine Kugel bezogen werden kann, die immer nur eine sehr kleine Brennweite hat.

Bei Plinius (Lib. 37, Cap. 2) liest man: *Invenio apud medicos, quae sint urenda corporum, non aliter utilius uri putari, quam crystallina pila adversis opposita solis radiis*, und das scheint wirklich auf eine krystallene, das heisst gläserne Kugel oder Linse hinzudeuten. Doch an einer andern Stelle (Lib. 36, Cap. 26) schreibt er dieses zündende Vermögen einer mit Wasser gefüllten gläsernen Kugel zu: *Est autem caloris impatiens (vitrum), nisi praecedat frigidus liquor, quum addita aqua vitreae pilae sole adverso in tantum candescant, ut vestes exurant.*

Ein schwacher Beweis dafür, dass die Alten wirklich Vergrösserungsgläser besessen haben müssen, wird auch darin gefunden, dass unter den auf uns gekommenen Kunstproducten der Alten manche einer ganz ungemein feinen Ausführung sich erfreuen, die ohne Benutzung eines Vergrösserungsmittels kaum erreichbar gewesen zu sein scheint. So sagt Vettori (l. c. p. 107): *Exstant in Museo Victorio gemmae aliquae ita parvulae, ut lenticulae granum illis duplo major sit; et tamen in iis vel semiexstantes figurae, vel incisae pariter spectantur, opera in area tam parvula sane admirando, quas oculo nudo vix incisas esse judicaveris.* In der *Histoire de l'Academie des Inscriptions* (T. I, p. 270) findet sich die Beschreibung eines Siegels, welches dem blossen Auge ein ganz verwirrtes und unkenntliches Bild giebt, dass sich aber unterm Mikroskope als eine bewundernswürdige Arbeit darstellt. Es ist dies das sogenannte Siegel des Michel Angelo auf Carneol. Nach der Abbildung hat es 15 Millimeter Länge auf 12 Millimeter Breite, und ausser mancherlei Nebendingen sind in diesem Raume nicht weniger als 17 Bilder von Menschen und Thieren gravirt. Es stellt einen Festzug zu Ehren der Geburt des Bacchus dar, oder nach Anderen ist das von Theseus eingesetzte Fest der Athene, die Pyauepsien, darauf dargestellt.

Es kann aber auch dieses Siegel gleich anderen feinen Arbeiten durch mechanische Hülfsmittel geschnitten sein, nach einer der jetzt zu diesem Zwecke benutzten Methoden. So zeigte Arago (*Comptes rendus*, 1845. XXI, Nro. 3) der französischen Akademie eine in Kupfer gestochene Karte von ganz Frankreich vor, welche Paulowicz mittelst eines von ihm erfundenen Instrumentes, des sogenannten Pantographen, in sehr kleinem Maassstabe ausgeführt hatte. Die ganze Karte hatte einen Durchmesser von kaum drei Centimeter, und doch unterschied man mittelst einer Lupe die Linien und die Namen der Oerter ganz genau. Ferner hat der vor Kurzem in Paris verstorbene Mechanikus Froment, wie wir aus dessen Leben von Laussedat (*l'Institut* 1865, p. 219) erfahren, im Jahre 1851 auf der Londoner Weltausstellung der Königin Victoria eine kleine Glastafel angeboten, die auf einem Quadratmillimeter das Wappen von Grossbritannien mit Umschrift und Dedication an die Königin gra-

virt enthielt. Ein noch auffallenderes Beispiel von feiner Bewegung der Hand durch mechanische Mittel liefert aber der mikroskopische Schreibapparat von Peters, welcher in den *Transact. of the Microsc. Society* (*Quart. Journ. of Microsc. Sc.* 1855, XII, p. 55) ausführlich beschrieben und abgebildet ist. Es ist im Wesentlichen ein System zweckmässig combinirter Hebel, wodurch die Bewegung einer Diamantspitze, welche Buchstaben auf ein Glasplättchen schreibt, so sehr verlangsamt wird, dass diese linear 110 bis 6250 Male, oder quadratisch 12000 bis 3900000 Male kleiner sind, als wenn sie mit der nämlichen Bewegung der Hand, jedoch ohne Beiwirkung des Apparats, geschrieben würden. Der Verfertiger schrieb damit das Vaterunser auf 6 Zeilen mit Buchstaben von $^1/_{16000}$ Zoll Höhe; es nahm $^1/_{150000}$ Quadratzoll ein. Die Wirkung des Apparates ist so leicht und sicher, dass Dr. Carpenter, der damalige Präsident der *Microsc. Society*, gleich beim ersten Versuche drei Zeilen auf noch nicht $^1/_{10000}$ Quadratzoll schrieb, und bei der mikroskopischen Untersuchung ergab es sich, dass an den Buchstaben, die nur $^1/_{1150}$ Zoll hoch waren, die Eigenthümlichkeit der Handschrift sich doch deutlich erkennen liess.

Dass nun die Alten zur Herstellung ihrer Intagli und Cameen mechanische Hülfsmittel benutzten, namentlich ein Rad und dadurch bewegte eiserne Spitzen, ist eine bekannte Sache; desgleichen, dass sie auch in Eisen gefasste Diamantsplitter dazu verwendeten. S. Lessing's *antiquarische Briefe*, wo folgende Stelle aus Plinius (Lib. 37, Cap. 4, Sect. 15) angezogen ist: *Adamas, cum feliciter rumpi contigit, in tam parvas frangitur crustas ut cerni vix possint; expetuntur hae scalptoribus ferroque includuntur nullam non duritiam ex facili cavantes.*

Es fragt sich daher, ob die Steinschneider im Alterthume die ganz kleinen, dem blossen Auge fast unsichtbaren Figuren auf die gleiche Art zu Stande gebracht haben, wie es noch heut zu Tage auf unseren Modellirbänken geschieht, nämlich durch mechanische Verkleinerung grösserer erhaben bossirter Figuren.

Unter den Kunstwerken der Alten endlich, die schwerlich ohne Mithülfe einer Lupe zu Stande gebracht werden konnten, sind auch jene zu nennen, von denen Plinius (Lib. 7, Cap. 21) berichtet. So erzählt er auf die Autorität des Cicero hin, ein gewisser Strabo habe die ganze Ilias auf ein Blatt geschrieben, das in einer Nuss aufbewahrt werden konnte. Callicrates soll aus Elfenbein Fliegen und andere kleine Thiere nachgemacht haben, deren einzelne Theile von Anderen nicht erkannt werden konnten. Myrmecides aber machte sich durch einen vierspännigen Wagen aus Elfenbein berühmt, so klein, dass ihn die Flügel einer Fliege deckten, sowie durch ein Schiff, welches durch die Flügel einer Biene gedeckt wurde.

Digitized by Google

6 Aus allem darf man schliessen:

1. dass die Alten im Besitze der Kunst waren, durchsichtige sowohl wie undurchsichtige Steine zu schleifen und zu poliren;

2. dass sie diesen Steinen zuweilen die Form concaver oder convexer Linsen gaben;

3. dass sie neben dem Glasblasen auch die Kunst des Glasgiessens und Glasschleifens verstanden;

4. dass sie kugelförmige und auch linsenförmig geschliffene Gläser als Brenngläser benutzten;

5. dass sie die Vergrösserung von Gegenständen beobachtet hatten, die hinter wassergefüllten gewölbten Flaschen befindlich waren.

Zwar scheint nirgends mit Bestimmtheit einer Vergrösserung durch linsenförmig oder kugelförmig geschliffene Gläser Erwähnung zu geschehen; man muss es aber fast für unmöglich halten, dass sie denen habe entgehen können, die sich solcher Gläser häufig bedienten.

Manche haben selbst Andeutungen von optischen Instrumenten bei den alten Autoren finden wollen. Nach Molyneux (*Treatise of Dioptricks.* Lond. 1692, p. 253) führt Paucirollus in seiner Schrift *De rebus inventis*, Tit. 15, angeblich aus Plautus folgende Stelle an: *Cedo vitrum, necesse est conspicillo uti.* Nach Molyneux ist dieses Citat aber falsch und die Stelle nirgends zu finden.

Aus dem christlichen Autor Pisidas, der im 7. Jahrhundert in Constantinopel lebte, theilt Junius folgenden Satz mit: *τα μελλοντα ὡς διὰ διοπτρον σὺ βλέπεις* (Jones, *An Essay on the first Principles of natural Philosphy*, Oxf. 1762, p. 277). Welches Instrument, um zukünftige Dinge dadurch sichtbar zu machen, unter dem Worte *διοπτρον* hier gemeint ist, lässt sich schwer ausmachen; doch scheint kein genügender Grund vorhanden zu sein, um mit Jones an ein Teleskop zu denken.

Muss man es nun auch als ausgemacht ansehen, dass die Alten mit den hauptsächlichsten Wirkungen convexer durchsichtiger Körper vertraut waren, so scheint es doch eben so fest zu stehen, dass sie von der veranlassenden Ursache, nämlich von der Brechung der Lichtstrahlen, keine klare Vorstellung hatten, wenn es ihnen auch nicht entgangen war, dass die gerade Linie verloren geht, sobald Gegenstände theilweise unter Wasser gesehen werden, wie man nach Regnault (*Origine ancienne de la physique nouvelle.* Amst. 1765, p. 175) aus einigen Stellen bei Aristoteles und Plutarchus ersieht. Ptolemaeus, der im zweiten Jahrhunderte nach Christus lebte und die Strahlenbrechung sehr gut kannte, ja selbst gemessen hat, scheint mit den Wirkungen convexer durchsichtiger Körper nicht bekannt gewesen zu sein. Der Erste, welcher eine freilich unrichtige Erklärung davon gegeben hat, ist Vitello um das Jahr 1270, und kurz nachher Roger Baco, von denen sogleich weiter die Rede sein wird.

Digitized by Google

Ueber die Reflexion der Lichtstrahlen hatten die Alten un- 7
zweifelhaft weit vollkommenere Kenntnisse. Es ist hinreichend bekannt, dass schon in früher Zeit Brennspiegel hergestellt wurden, die unsere gegenwärtigen in der Wirkung selbst übertroffen haben müssen, wenn das wahr ist, was man von ihren Effecten erzählt. Ich brauche kaum an die von Vielen bereits bezweifelte Erzählung von Verbrennung der römischen Schiffe vor Syrakus durch Archimedes zu erinnern, worüber ausser manchen älteren Autoren Wilde (*Gesch. d. Optik*, 1838. I, S. 31) sehr umständlich handelt.

Archimedes soll eine Abhandlung über parabolische Brennspiegel verfasst haben, die aber verloren gegangen ist. Dem Euclides werden sodann Optica zugeschrieben, worin auch von der Wirkung der Hohlspiegel gehandelt wurde. Es führen aber mehrere Gründe auf die Vermuthung, dass dieses Werk nicht von Euclides stammt (*Encyclop. Britann.* Vol. 14, p. 179), während dagegen Wilde (a. a. O. Thl. I, S. 11) annimmt, Euclides habe es zwar geschrieben, es sei aber durch Theon und andere Commentatoren umgeändert worden. Jedenfalls ist das Werk sehr alt. Die Gesetze der Lichtreflexion, namentlich aber dass der Einfalls- und Reflexionswinkel einander gleich sind, sind gewiss schon sehr früh den Nachfolgern des Plato bekannt gewesen, und zu diesen gehört auch Euclides.

Dass die Alten die Eigenschaft des Hohlspiegels, Gegenstände vergrössert darzustellen, wirklich benutzt haben, ist aus einer Stelle bei Plinius (Lib. 33, Cap. 9, Sect. 45) zu entnehmen: *Eadem vis in speculi usu. Polita crassitudine paulumque propulsa dilatatur in immensum magnitudo imaginum*; noch mehr aber aus der von Porta (*Magia naturalis s. de miraculis rerum naturalium.* Antw. 1560, Lib. 4, Cap. 14) bereits angezogenen schmutzigen Geschichte, die bei Seneca (*Nat. Quaest.* Lib. 1, Cap. 15 und 16) zu lesen ist: *Sunt specula, quae faciem prospicientium obliquent, sunt quae in infinitum augeant ita, ut humanum habitum modumque excedant nostrorum corporum. — Hostius (qui tam virorum quam feminarum avidus fuit) fecit specula ejus notae cujus modo retuli, imagines majores reddentia, in quibus digitus brachii mensuram et crassitudinem excederet. Haec autem ita disponebat, ut cum virum ipse pateretur, aversus omnes admissarii sui motus in speculo videret ac deinde falsa magnitudine ipsius membri tanquam vera gaudebat.*

Digitized by Google

Zweiter Abschnitt.

Spätere Geschichte der Linsen und Erfindung der Brillen.

8 Wir müssen jetzt einen Zeitraum von nicht weniger als 1000 Jahren überspringen, worin nur Weniges zur Förderung der Wissenschaften geschehen ist; und von diesem Wenigen ist selbst nur ein kleiner Theil auf uns gekommen. Der Erste, welcher nach dieser Zeit der Erscheinungen an convexen Gläsern Erwähnung thut, ist der Araber Alhazen Ben Alhazen, der etwa um das Jahr 1100 lebte. Man liest in dessen Optik (*Opticae thesaurus Alhazeni Arabis*. Basil. 1572, Lib. VII, 44 und 45), dass, wenn ein Object dicht an die gerade Fläche eines Glaskugelsegments gehalten wird, dessen gewölbte Fläche dem Auge zugekehrt ist, dieses Object sich dann vergrössert darstellen wird. Hier finden wir also zuerst die Wirkung einer planconvexen Linse beschrieben, wenngleich es Alhazen entgangen ist, dass das Object nicht dicht an die Linsenoberfläche gehalten zu werden braucht.

Im Jahre 1270 schrieb Vitello eine Optik (*Vitellonis Thuringopoloni περὶ οπτικῆς sive de natura, ratione et projectione radiorum visus, luminum, colorum, formarum* etc. Lib. X. *editi opera G. Tanstetter et Petri Apiani*. Norimb. 1535 Fol.; mit Alhazen's Schrift zusammen in: *Opticae thesaurus, ed. Federico Risnero*. Basil. 1572. Fol.). Alles Wichtige aus der Schrift von Alhazen ist darin aufgenommen, und so auch die ge-

Digitized by Google

nannte Erscheinung. Indessen seine Beobachtungen sowohl wie seine Erklärungen sind falsch, und es scheint fast ausgemacht, dass er nicht aus eigener Erfahrung spricht, sondern nur mittheilen will, was Alhazen darüber sagt, den er offenbar falsch verstanden hat. Denn während Alhazen von der Wirkung eines Kugelsegments redet, welches grösser denn eine Halbkugel ist, handelt Vitello von einem der Halbkugel an Grösse nachstehenden Kugelsegmente, und er glaubt, der Punkt, worin sich alle durch ein solches Segment gehende Strahlen vereinigen, müsse gerade der Mittelpunkt der Kugel sein.

Gleichzeitig mit Vitello lebte Roger Baco (geb. 1214, gest. 1292), ein Mann, der alle seine Zeitgenossen in der Kenntniss der Natur und ihrer Erscheinungen übertraf, und das gewöhnliche Loos solcher theilte, die sich in Kenntnissen auszeichnen, während die ganze Umgebung dumm und unwissend ist. Er wurde nach Molyneux (a. a. O. S. 257) der Zauberei beschuldigt und ins Gefängniss geworfen, worin er 10 Jahre schmachtete und nach manchen Angaben sogar starb. Aus vielen Stellen seiner Schriften ersieht man, dass er mit dem Gebrauche convexer Gläser bekannt war, und es finden sich auch ziemlich deutliche Spuren, dass er dieselben zu zusammengesetzteren optischen Instrumenten zu combiniren versuchte. Molyneux und Smith führen folgende Stellen aus seinem *Opus majus* an: *Si vero corpora non sunt plana per quae visus videt, sed sphaerica, tunc est magna diversitas, num vel concavitas corporis est versus oculum vel convexitas* etc., und weiterhin: *De visione fracta majora sunt; nam facile patet, maxima posse apparere minima et e contra, et longe distantia videbuntur propinquissime et e converso. Sic etiam faceremus Solem et Lunam et Stellas descendere secundum apparentiam inferius* etc. Die Bekanntschaft mit Vergrösserungsgläsern erhellt aber aufs Deutlichste aus folgender Stelle: *Si vero homo aspiciat literas et alias res minutas per medium crystalli vel vitri vel alterius perspicui suppositi literis, et sit portio minor sphaerae, cujus convexitas sit versus oculum, et oculus sit in aëre, longe melius videbit literas et apparebunt ei majores. Nam secundum veritatem canonis quinti de sphaerico medio, infra quod est res et citra ejus centrum, et cujus convexitas est versus oculum, omnia concordant ad magnitudinem: quia angulus major est sub quo videtur, et imago est major, et locus imaginis est propinquior, quia res est inter oculum et centrum, et ideo hoc instrumentum est utile senibus et habentibus oculos debiles. Nam literam quantumcunque parvam possunt videre in sufficiente magnitudine.*

Endlich berichtet auch noch Record (*Chemin de la Science* 1551), dass Baco ein Glas geschliffen habe, durch das man so merkwürdige Sachen sah, dass die Wirkung desselben allgemein der Macht des Teufels zugeschrieben wurde.

Aus diesem Allen scheint gefolgert werden zu dürfen:

Digitized by Google

1. dass Baco planconvexe Linsen besass, mit deren vergrössernder Kraft er durch eigene Beobachtung vertraut war;

2. dass er den Grund der Vergrösserung der Objecte darin erkannte, dass die Linsen es möglich machen, die Objecte unter einem grössern Winkel zu sehen;

3. dass er einsah, wie nützlich solche Linsen denen sein müssen, die alt sind und ein schwaches Gesicht haben.

Es ist klar, dass diese letztere Wahrnehmung unmittelbar zur Erfindung der Brillen führen musste, wenn auch bezweifelt werden darf, dass Baco Gläser mit einem weiten Focus, wie bei den eigentlichen Brillen, angefertigt hat, da er wohl eher ein stärkeres Vergrösserungsglas in der Hand halten oder auf die Schrift legen wollte, um namentlich dadurch Buchstaben deutlich lesen zu können*).

---

*) Man hat viel darüber geschrieben, welche Kenntnisse Baco über die Wirkung convexer Gläser besessen habe. Manche lassen ihn sogar als Erfinder optischer Instrumente gelten, während Andere meinen, dasjenige, was er über das Vergrösserungsvermögen convexer Gläser mittheilt, beruhe nicht auf eigenen Versuchen, sondern sei nur den Werken von Alhazen und Vitello entlehnt. Einige Dunkelheiten in den angezogenen Stellen scheinen diese Annahme allerdings einigermaassen zu rechtfertigen Baco sagt, man solle das Vergrösserungsglas auf die Buchstaben legen; auch erklärt der Kanon, worauf er sich beruft, die Erscheinung eigentlich nicht, denn er spricht dort nur von Objecten, die sich innerhalb eines dichteren Mediums, namentlich in Wasser befinden. Man liest ferner in dem berühmten Briefe Baco's: *De mirabili potestate artis et naturae, ubi de philosophorum lapide* etc., der zuerst bei Claudius Celestinus: *De his quae mundo mirabiliter eveniunt. Lutetiae Parisiorum* 1542. 4. abgedruckt ist, Folgendes: *Possunt enim sic figurari perspicua, ut longissime posita appareant propinquissima et e contrario, ita quod incredibili distantia legeremus literas minutissimas et videremus res quantumcunque parvas et stellas faceremus apparere quo vellemus.... Possunt et sic figurari corpora, ut maxima appareant minima et e contrario, et alta appareant ima et infima contrario, et occulta appareant manifesta.* Wenn aber einige Zeilen weiter zu lesen steht: *Possunt etiam sic figurari perspicua, ut omnis homo ingrediens domum videret veraciter aurum et argenteam et lapides preciosas*, so wird jener durch den ersten Satz hervorgerufene Eindruck gar sehr geschwächt. Liest man dann ferner daselbst: *Instrumenta navigandi possunt fieri sine hominibus navigantibus, ut naves maximae et marinae ferantur unico homine regente, majori velocitate quam si essent plenae hominibus navigantibus: unde currus possunt fieri, qui sine animali moveantur cum impetu inaestimabili.... et infinita talia possunt fieri, ut pontes ultra flumina sine columna et aliquo obstaculo*, so könnte man an die Dampfschiffe, Locomotiven und Hängebrücken der Gegenwart denken, wenn nicht ein eingeschobener Satz (*possunt fieri instrumenta volandi, ut homo sedens in medio instrumenti revolvens aliquod ingenium, per quod alae artificialiter compositae, aërem verberent ad modum avis volantis*) bewiese, dass Baco, weit davon entfernt, alles, was er sich in seinen philosophischen Träumen als möglich dachte, durchs Experiment nachzuweisen, sich vielmehr dazu verleiten liess, seine theoretischen Vorspiegelungen für wirkliche Wahrheiten zu halten.

Mahnen uns nun aber auch diese Beispiele, Baco's Kenntnisse über Dinge, von denen er in der That nicht viel mehr als eine Ahnung hatte, mit Vorsicht zu

Digitized by Google

Wie dem auch sei, es steht so viel fest, dass kurz nach **Baco's** Tode, 9
wenn nicht vielleicht gar schon vorher, die Brillen in Europa in Gebrauch gekommen sind*).

Molyneux (*Dioptrica nova*, p. 254) führt eine Stelle aus **Menage** (*Origini della lingua Italiana*. Ginevra 1685) an, die dieser der Handschrift eines griechischen Gedichts auf der königlichen Bibliothek in Paris

---

beurtheilen, so müssen wir doch andererseits eingestehen, dass seine im Texte enthaltenen Angaben über das Vergrösserungsvermögen der Linsen die Erscheinung zu scharf zeichnen, als dass man annehmen dürfte, er habe sie nicht selbst wahrgenommen, sondern nur Anderen nachgeschrieben, wenngleich er eine unrichtige Erklärung davon giebt. Ferner wurden um **Baco's** Zeit die Brillen wirklich bekannt, und man darf doch wohl nicht annehmen, dass man auf einmal, fast ohne Vorbereitung, zur Darstellung von Brillengläsern gekommen ist; der gewöhnliche Gang der menschlichen Entdeckungen lässt vielmehr vermuthen, dass man, nachdem die Wirkungen convexer durchsichtiger Körper wahrgenommen worden waren, allmälig Gläser zu schleifen begann mit einem immer weiteren Focus, bis man endlich auf Gläser kam, welche dem bei Brillengläsern vorschwebenden Zwecke entsprachen.

*) Bekanntlich sind mancherlei Erfindungen, wie die des Schiesspulvers, der Compassnadel u. s. w., schon früher von den Chinesen gemacht worden, und das dürfte auch mit den Brillen der Fall sein; wenigstens scheint die Erfindung unabhängig von Europa bei den Chinesen vorzukommen. Ihre Brillen sind ganz verschieden von den unseren. Es sind zwei grosse, theilweise convex und theilweise concav geschliffene runde Scheiben aus einem Mineral, das sie *Scha-chi*, d. h. Theestein, nennen, weil seine Farbe einem dunkeln Theeaufgusse gleicht. Diese durchsichtigen Scheiben befestigen sie vor den Augen dadurch, dass sie seidene Schnuren hinter die Ohren führen. S. **Carl Bursy**, *das künstliche Licht und die Brillen*. Mitau u. Lpz., 1846, S. 29.

Nach manchen Angaben sollte der Gebrauch der Brillen früher als irgend anderswo bei den südamerikanischen Völkern bekannt gewesen sein, deren älteste Cultur wenigstens noch in ihren Bau- und Bilderwerken zu uns spricht. In **A. Voit's** *Denkmälern der Kunst zur Uebersicht ihres Entwickelungsganges*. Stuttg. 1845 Heft 1, Taf. 2 u. 3, sind mehrfache derartige Ueberbleibsel aus Mexico, Peru u. s. w. dargestellt, und darunter vielleicht auch ein Kopf mit einer Brille (**W. Menzel's** *Literaturblatt*, 1845, Nr. 104, S. 116). Die blosse Uebereinstimmung der Form und das Anbringen vor den Augen bürgen aber noch keineswegs mit Sicherheit dafür, dass diese Deutung eine richtige ist.

Es fehlt auch nicht an märchenhaften Angaben über die Erfindung der Brillen. Der heilige Hieronymus, der im vierten Jahrhunderte lebte, soll bereits Brillen gekannt haben, und noch im Jahre 1660 hatte in Venedig die Ladenthür eines Brillenverkäufers die Aufschrift: *San Girolamo inventore degl' occhiali.* Der Irrthum ist vielleicht durch Anachronismen hervorgerufen worden, deren sich Maler schuldig gemacht haben. So hat **Domenico del Ghirlandajo** (geb. 1551, gest. 1595) den heiligen Hieronymus wirklich mit einer Brille auf der Nase abgemalt. Auch **Ludvico Candi da Cigoli** (geb. 1559, gest. 1613) hat sich diesen Anachronismus in dem Bilde erlaubt, welches den alten Simeon mit dem Christuskinde in der Kirche San Francesco di Prato darstellt. (**Bursy** a. a. O., S. 26)

entnommen hat. Der Verfasser des Gedichts, welcher etwa ums Jahr 1150 lebte, spottet nämlich über die damaligen Aerzte, „dass sie die Excreta ihrer Kranken mit einem Glase beguckten." Wäre damit gesagt, dass die damaligen Aerzte die Excreta der Kranken wirklich mittelst eines convexen Glases untersuchten, dann würde freilich die Benntzung des Vergrösserungsglases zu diagnostischen Zwecken von weit älterem Datum sein als man meistens glaubt. Da jedoch über die Form dieses Glases nichts gesagt wird, so wenig als über den Zweck seines Gebrauchs, so dürfen wir wohl annehmen, dass die Aerzte dabei mehr den Zweck hatten, ihre Nase zu schützen, nicht aber ihre Augen zu verstärken.

Zuverlässigere Nachrichten über die Zeit der Brillenerfindung haben wir durch Redi's Nachforschungen erhalten. Dieselben sind in zwei Briefen an Carlo Dati und an Paolo Falconieri enthalten, die sich im vierten Theile seiner Werke befinden, im Auszuge aber bei Spon (*Recherches curieuses d'antiquité.* Lyon, p. 163), sowie in den *Philosoph. Transact.* f. 1683, p. 392 zu lesen sind. Auch bei Girolamo Tiraboschi (*Storia della Letteratura Italiana.* Modena, 1793, p. 163) findet man die bezüglichen Stellen. Redi verlegt die Erfindnng zwischen 1280 und 1311, wobei er sich auf folgende Zeugnisse stützt. In einer Chronik, die handschriftlich bei den Prädikanten zu St. Catharina in Pisa aufbewahrt wird und die auch der Reihe nach von mehreren gleichzeitig lebenden Autoren abgeschrieben wurde, liest man nämlich: *frater Alexander de Spina, vir modestus et bonus, quaecunque vidit aut audivit facta scivit et facere. Ocularia ab aliquo primo facta et communicare nolente ipse fecit et communicavit corde hilari et volente.* Dieser Alexander de Spina nun war in Pisa geboren und starb im Jahre 1313. Er verstand die Kunst des Brillenmachens am Ende des 13. oder zu Anfang des 14. Jahrhunderts, und wenn ihm auch nicht die Ehre der Erfindung zufällt, so hat er doch das grosse Verdienst, diese Erfindung bekannt gemacht zu haben.

Dass die Erfindung der Brillen aber schon in die letzten Jahre des 13. Jahrhunderts fällt, kann man aus einer Stelle in einer Handschrift vom Jahre 1299 schliessen, die den Titel führt: *Trattato del governo da Sandra di Pipozzo di Sandro Fiorentino*, worin der Schreiber sagt, er sei so vom Alter gebeugt, dass er weder lesen noch schreiben könne ohne die Gläser, die man Brillen nennt, und die neuerdings erfunden seien zur Bequemlichkeit gebrechlicher Alten, denen das Gesicht versagt *). Damit stimmt auch überein, was Giordano da Rivalta, der im Jahre 1311 im Kloster zu St. Catharina in Pisa starb, also ein Klosterbruder des Alexander de Spina, in einer Predigt, gehalten am 23. Februar 1305 zu Flo-

*) „*Mi trovo cosi gravoso di anni, che non abbia vallenza di leggiere e scrivere senza vetri apellati okiali, truovati novellamente per comodita delli poveri veki, quando affiebolano del vedere.*"



renz, seinen Zuhörern sagte, dass es nämlich noch nicht 20 Jahre her sei, seitdem die Kunst der Brillenverfertigung erfunden wurde, eine der nützlichsten Künste auf der Welt, und dass er den Erfinder selbst gesehen und gekannt habe*). Dass die Brillen in den ersten Jahren des 14. Jahrhunderts wirklich schon ziemlich bekannt waren, ersieht man daraus, dass der berühmte Arzt Bernard Gordon in Montpellier im Jahre 1305 in seinem *Lilium medicinae* eine Augensalbe mit dem Beisatze anpreist: *et est tantae virtutis, quod decrepitum faceret legere literas minutas absque Ocularibus.*

Nach A. von Humboldt (*Kosmos* II, S. 508) sollen die Brillen in Haarlem schon zu Anfang des 14. Jahrhnnderts bekannt gewesen sein; nnr ist die Quelle nicht angegeben, woraus diese für die Geschichte der optischen Instrumente in den Niederlanden so wichtige Angabe entlehnt worden ist.

Der Name des wahren Erfinders blieb aber verborgen, bis Leopoldo del Migliore, ein florentinischer Alterthumskundiger, in der Kirche Santa Maria Maggiore zu Florenz folgende alte Grabschrift entdeckte: *Qui giace Salvino d'Armato degli Armati di Fir. Inventore degli Occhiali. Dio gli perdoni la peccata.* Anno D. MCCCXVII. (s. Tiraboschi l. c. p. 198. Musschenbroek, *Introd. ad philos. nat.* II, p. 786. Volkmann, *Nachrichten aus Italien*, I, S. 512). Diese Grabschrift, verbunden mit den oben angeführten Zengnissen Redi's, macht es also höchst wahrscheinlich, dass Armati der Mann gewesen ist, den Giordano da Rivalta als den ersten Verfertiger der Brillen gekannt haben will nnd dem Alexander de Spina die Knnst abgelernt hat.

Fassen wir alles Bisherige zusammen, so ergiebt sich, dass schon in 10
sehr alten Zeiten das Vergrösserungsvermögen convexer durchsichtiger Körper bekannt war. und ebenso die Kunst, Glas und selbst Bergkrystall zn schleifen. Späterhin finden wir diese Kunst noch erhalten, im Besondern bei den Mönchen, fast den einzigen, in deren Händen damals Kunst und Wissenschaft lagen. Denn mehr als wahrscheinlich ist es doch wohl, dass ausser Roger Baco auch noch andere Mönche das Verfahren der Alten beim Glasschleifen verstanden; dies erhellt schon aus dem Beispiele des Alexander de Spina, der offenbar die Kunst des Glasschleifens verstand, da er ohne Unterricht die von einem anderen verfertigten Brillen nachmachen konnte. Die Erfindung der Brillen beruht also nur darauf, dass man anfing, Linsen mit grösserer Brennweite als früherhin

*) *Non è ancora vent'anni, che si trovò l'arte di fare gli occhiali, che fanno veder bene, che è una delle migliori arti e delle piu necessarie, che il mondo abbia"* . . . . *„Jo vedi colui, che prima la trovò e fece, e favellagli."*

Digitized by Google

zu schleifen, und dies hat wahrscheinlich um die Jahre 1285 bis 1290 stattgefunden.

In der letzten Hälfte des 14. Jahrhunderts mussten die Brillen wohl schon sehr verbreitet sein, denn Molyneux (l. c. p. 257) führt von Guido de Ohauliac an, derselbe habe 1363 in seiner *Chirurgia magna* ein Paar Augenwasser angegeben und dann hinzugefügt: wenn diese nicht helfen, dann müsse man zur Brille greifen.

Allmälig wurde auch das Brillenschleifen ein Handwerk, welches aller Orten von einiger Bedeutung geübt wurde. So werden am Ende des 16. Jahrhunderts in Middelburg zwei Brillenschleifer mit Namen aufgeführt, nämlich Hans Janssen mit seinem Sohne Zacharias, so wie Lippershey, und zur Zeit Leeuwenhoek's (*Sendbrieven*, Delft 1718, p. 169) befanden sich deren drei zu Leyden. Diese allgemeine Ausbreitung der Kunst, Glas zu Linsen zu schleifen, hat aber zur glücklichen Erfindung der zwei mächtigsten Hülfsmittel der Beobachtung geführt, zum Teleskope und zum Mikroskope.

Digitized by Google

Dritter Abschnitt.

Erfindung des zusammengesetzten Mikroskopes und erste Benutzung der einfachen Linse zu wissenschaftlichen Untersuchungen.

Wir nähern uns jetzt dem Zeitpunkte, wo die eigentliche Geschichte 11
des Mikroskopes ihren Anfang nimmt, des Werkzeuges nämlich, welches den Schleier abheben sollte von den Naturerscheinungen, die dem blossen Auge unlösliche Räthsel sind. Wir haben gesehen, dass schon seit Jahrhunderten die vergrössernde Kraft der convexen Gläser und Spiegel bekannt war, und dass man wahrscheinlich bei feinen Kunstarbeiten davon Gebrauch gemacht hatte, und doch scheint Niemand auf den Gedanken gekommen zu sein, das Auge damit zu waffnen, um dadurch tiefer in die Geheimnisse der Natur einzudringen. Die einfache Linse war seit langer Zeit bekannt. Das war aber noch kein Mikroskop; sie wurde es erst von dem Augenblicke an, als sie zur Untersuchung von Naturkörpern verwandt wurde, die vermöge ihrer Kleinheit sich dem Auge entzogen. Wann dies zuerst geschehen, ist aber schwer mit einiger Sicherheit anzugeben. Philippus Bonannus (*Observationes circa viventia quae in rebus non viventibus reperiuntur, cum Micrographia curiosa.* Rom. 1691, p. 7) hat zwar ein Verzeichniss derer geliefert, die bis zu seiner Zeit ihre mit dem Mikroskope ausgeführten Untersuchungen beschrieben haben sollten, und als Ersten nennt er Georg Hufnagel, der im Jahre 1592 in Frankfurt

Digitized by Google

ein Werk über Insecten mit 50 Kupfertafeln herausgab. Ich kenne dieses Werk nicht selbst; sind aber wirklich darin mikroskopische Beobachtungen in Worten mitgetheilt, so sind diese mit einfachen Linsen ausgeführt worden, denn in diesem Jahre war, wie gleich zn erwähnen, das zusammengesetzte Mikroskop kaum noch bekannt.

Huygens (*Opuscula posthuma*. Amstelod. 1728, I. *Dioptrica*, p. 170) meint, einfache Linsen statt des Mikroskopes seien erst nach Erfindung der Teleskope in Gebrauch gekommen. Ich halte es für sehr wahrscheinlich, dass man erst nach der Erfindung des zusammengesetzten Mikroskopes sich mehr und mehr auf das Schleifen von immer kleineren Linsen gelegt hat, die man dann anch für sich als Mikroskope gebrauchte, namentlich nachdem Leeuwenhoek's treffliche Beobachtungen gelehrt hatten, was man damit erzielen kann.

Bevor ich jedoch über die Schicksale des einfachen Mikroskopes weiter mich auslasse, muss ich zuerst einige Augenblicke bei der Geschichte der Erfindung des zusammengesetzten Mikroskopes verweilen.

12 Zwei Nationen streiten noch bis diesen Tag nm die Ehre der Erfindung des zusammengesetzen Mikroskopes, die Italiener nämlich nnd die Holländer, und bei beiden hat man diese Ehre mehr denn Einem zuweisen wollen. Bei den Italienern sind es Fontana und Galilei*), bei den Holländern Drebbel von Alkmaar, und zwei Middelburger, nämlich Hans nnd Zacharias Janssen, Vater nnd Sohn.

Fontana gab 1646 in Neapel seine *Novae celestium terrestriumque observationes* heraus, worin er angiebt, er habe das Mikroskop im Jahre 1618 erfunden; er beruft sich dabei auf das Zeugniss eines Jesuiten, der dasselbe sieben Jahre später bei ihm selbst gesehen habe. Dieses Zeugniss lautet: *Ego Hieronymus Sirsalis soc. Jesu S. T. P. in collegio Neapolitano testatum volo me circiter annum* 1625 *Francisci Fontanae vidisse Microscopium ab ipso mira arte compositum* etc.

---

*) Man hat auch Porta genannt (Chevalier, *die Mikroskope* u. s. w., übersetzt von Kerstein. 1843, S. 4); ich meine aber, dass dieser in keiner Weise hier in Betracht kommen kann. Weder in der Ausgabe seiner *Magia naturalis*, welche 1560 in 4 Büchern erschien, noch auch in der späteren von 1607 in 20 Büchern kommt etwas vor, was zu dieser Annahme führen könnte. Er spricht darin kaum über das Vergrösserungsvermögen der Linsen. Porta hat zwar auch noch ein Buch *De refractione optica* geschrieben, das ich nicht selbst gelesen habe; aber weder Wilde in seiner Geschichte der Optik, noch Libri in seiner *Histoire des sciences mathémathiques en Italie*, der sehr ausführlich über Porta handelt, melden etwas, was anf die Erfindnng des Mikroskopes durch Porta hinwies. — Eine andere Frage ist die, ob Porta nicht das Teleskop gekannt hat. Einige bemerkenswerthe Stellen darüber kommen im zehnten Hauptstücke seiner *Magia naturalis* (1607) vor, die man in der letzten Zeit wohl zu wenig berücksichtigt hat.

Von Galilei berichtet dessen Biograph Viviani (*Divinatio* II, p. 123 und Galilei, *Opere* I, p. XX), die Erfindung des Teleskopes habe ihn auch zu jener des Mikroskopes geführt, und im Jahre 1612 habe er ein solches Instrument an den König Casimir von Polen geschickt.* Libri (*Hist. des Sc. math. en Italie* IV, p. 222) dagegen hat späterhin dargethan, dass Galilei sein Mikroskop nicht an Casimir, sondern an König Sigismund von Polen geschickt hat.

Ueber Drebbel berichtet Huygens (*Dioptrica*, p. 170), derselbe habe sich damals in London aufgehalten und im Jahre 1621 hätten viele bei ihm Mikroskope gesehen, als deren erster Erfinder er dort allgemein gelte *). Van Cappelle (*Bydragen tot de geschiedenis der Wetenschappen en Letteren in Nederland* 1821, p. 92) theilt ferner einen Brief des Peiresc in Paris vom 21. Dec. 1622 an G. Cambden in London mit, worin Folgendes vorkommt: *On nous raconte ici de grandes merveilles des inventions de Sieur Cornelius Drubelsius Alcmariensis, qui est au service du Roy de la grande Bretagne, résident en une maison près de Londres. Je vous supplie de m'écrire un mot de la verité de chacune de ces inventions. Nous avons bien vu ici de ces petites lunettes, qui font voir des cirons et des mistes gros comme des mouches, mais je voudrais bien être assuré de ce qu'il y a de vrai touchant ces autres inventions.* Daraus ersieht man, dass 1622 in Paris Mikroskope von Drebbel zu sehen waren. Es folgt aber nicht daraus, dass es zusammengesetzte Mikroskope waren, da man eben so gut annehmen kann, dass es kleine Mikroskope mit nur Einer Linse waren, von der Art, die man später *Vitra pulicaria* nannte.

Ueber Drebbel's Antheil an der Erfindung des Mikroskopes und besonders über das Bekanntwerden dieses Instrumentes in Italien ist aber durch die interessante Entdeckung des Abbé Rezzi, des Bibliothekars im Palast Corsini, mehr Licht verbreitet worden. Unter vielen anderen Briefen des eben genannten Peiresc in der Barberini'schen Bibliothek hat Rezzi auch 10 gefunden, die auf das Mikroskop Bezug haben, und die Peiresc in den Jahren 1622, 1623 und 1624 aus Paris und aus Aix an Hieronymus Aleandro in Rom geschrieben hat. Sie sind in der

---

*) Wie sonderbar die Sachen manchmal durch eine unvollständige und unaufmerksame Compilation verdreht werden, dafür kann ich ein Paar Beispiele anführen. Giovanni Santini (*Teorica degli stromenti ottici.* Padova 1828, p. 158) hat offenbar Huygens gelesen und schreibt: *Sembra doversi stabilire una si utile invenzione fra il* 1628 *ed il* 1621, *e doversene attribuire l'onore all' Inglese Drebbel;* er macht also Drebbel zu einem Engländer. Noch besser macht es aber der Referent über Brewster's *Martyrs of Science* in der *Bibliothèque universelle de Genève.* 1846. *Janv.*, p. 319, wenn er schreibt: *Il* (*Galilée*) *affirme qu'il n'a vu aucun des Télescopes de Dutch*, als wäre Dutch (Holländer) ein Eigenname. — Brewster selbst im *Treatise on the Microscope* nennt Janssen wiederholt Zansz.

kleinen Schrift von Rezzi (*Sulla invenzione del microscopio* etc., Rom 1852. 4, p. 36 — 40) mitgetheilt. Aus dem ersten dieser Briefe (Paris, 7. Juin 1622) ersieht man, dass ein gewisser Jacob Kuffler von Köln, ein Blutsverwandter des Cornelius Drebbel, dem Peirese Augengläser (*Occhiali*) neuer und eigener Erfindung zeigte, durch die man einen Floh so gross wie eine Heuschrecke und die Käsemilben so gross wie Fliegen sah. Mit einem solchen Augenglase begab sich Kuffler nach Rom, den Brief des Peiresc als Empfehlungsbrief an Aleandro mit sich nehmend, worin versucht wurde, ihn bei Hofe einzuführen, namentlich beim Cardinal Santa Susanna und beim Cardinal Barberini, der ein Jahr später als Urban VIII. zum Papste gewählt wurde. Bald nach seiner Ankunft scheint aber Kuffler gestorben zu sein. Wenigstens gedenkt Peiresc im folgenden Briefe vom 8. December 1622 des Todes von Kuffler, und drückt zugleich sein Bedauern aus, dass Kuffler nicht im Stande gewesen sei, die wunderbaren Wirkungen seines Augenglases in Rom zu zeigen. Fast ein Jahr später (17. Sept. 1623) fand Peiresc erst Gelegenheit, den Verlust zu ersetzen, indem er die beiden eigenen, ebenfalls von Drebbel gefertigten und von Kuffler zurückgelassenen Augengläser zuschickte. Einem Briefe aus Aix (3. März 1624) ist aber zu entnehmen, dass man in Rom mit dem Instrumente nicht zurecht kam. Peiresc giebt darin verschiedene Anweisungen über den Gebrauch, die deshalb von Wichtigkeit sind, weil man mit Bestimmtheit daraus ersieht, dass zu diesen Mikroskopen zwei convexe Gläser gehörten; denn er erwähnt ausdrücklich der Bildumkehrung. Aus dieser Anweisung folgt ferner, dass der Abstand beider Gläser von einander und folglich auch die Vergrösserung des Instrumentes innerhalb gewisser Grenzen dem Wechsel unterlag. Dass es ferner nur für undurchsichtige Objecte passte, ist aus dem Briefe vom 24. Mai 1624 zu entnehmen, worin Peiresc die Beleuchtung durch Sonnenlicht anräth. Aus dem letzten Briefe vom 1. Juli 1624 ersieht man endlich, dass man in Rom erst dann dazu kam, die Objecte durch dieses Vergrösserungsglas ziemlich hell zu sehen, als Galilei dort angekommen war.

Das Zeugniss für Hans und Zacharias Janssen als Erfinder des Mikroskopes findet sich in der Schrift des zu Castres geborenen und 1689 verstorbenen Leibarztes Ludwig's XIV., Pierre Borel, oder Petrus Borellus: *De vero telescopii inventore, cum brevi omnium conspiciliorum historia. Accessit etiam Centuria observationum microscopicarum.* Hag. Comitum 1655. Darin findet sich ein Brief von Willem Boreel (Baron von Vroendyke, Herr von Duinbeke, Pensionarius von Amsterdam) vor, geb. 1591 in Middelburg, 1619 Advocat der ostindischen Compagnie und als solcher nach England geschickt, dann noch anderwärts Gesandter, und 1627 als Gesandter nach Paris gehend, wo er mit dem genannten Leibarzte Pierre Borel bekannt wurde, dem er jedoch nicht verwandt

war. Pierre Borel giebt aber an, dass er auf den Wunsch des Willem Boreel die Feder ergriffen habe, um Middelburgs Recht zu vertheidigen. Der in der genannten Schrift enthaltene Brief des Willem Boreel lautet: *Middelburgum Sclandorum metropolis mihi patria est. Juxta aedes ubi natus sum in foro olitorio templum novum est, cujus parentibus (parietibus?) nectuntur aediculae quaedam satis humiles. Harum unam prope portam monetariam occidentalem inhabitabat anno* 1591 (*cum natus sum*) *quidam conspiciliorum confector nomine Hans, uxor ejus Maria, qui filium habuit praeter filias duas, Zachariae nomine quem novi familiarissime, quia puero mihi vicino vicinus ab ineunte tenerrima aetate colludens. Semper adfuit, egoque puer in officina ipsi saepiuscule adfui. Hic Hans id est Johannes cum filio suo Zacharia, ut saepe audivi, Microscopia primi invenere, quae principi Mauritio gubernatori et summo duci exercitus Belgicae foederatae obtulerunt, et honorario aliquo donati sunt. Simile microscopium postea ab ipsis oblatum fuit Alberto archiduci Austriaco, Belgicae regiae supremo gubernatore. Cum in Anglia anno* 1619 *Legatus essem, Cornelius Drebelius Alckmarianus Hollandus, vir multorum secretorum naturae conscius ibique regi Jacobo in mathematicis inserviens et mihi familiaris, ostendit illud ipsum instrumentum mihi, quod archidux ipsi Drebelio dono dederat, videlicet microscopium Zachariae istius; nec erat (ut nunc talia monstrantur) curto tubo, sed fere ad sesquipedem longo, cui tubus ipse erat ex aere inaurato, latitudinis duorum digitorum in diametro insidens tribus delphinis ex aere, itidem subnixis; in basis disco ex ligno ebeno, qui discus continebat impositas quisquilias aut minuta quaeque, quas desuper inspectabamus forma ampliata ad miraculum fere maxima. Ast longe post, nempe anno* 1610, *inquirendo paulatim etiam ab illis inventa sunt Middelburgi Telescopia longa siderea etc.*

Man ersieht aus dieser Beschreibung, dass es sich um ein zusammengesetztes Mikroskop handelt, das nur wenig von jenen abweicht, wie sie noch eine geraume Zeit späterhin verfertigt wurden. Auf die wahrscheinliche optische Einrichtung desselben werde ich alsbald noch näher zurückkommen.

Das sind die wesentlichen Momente, welche man für jeden der Genannten als Erfinder des Mikroskopes geltend machen kann und die jetzt einzeln abzuwägen sind. 13

Fontana's Ansprüche können kaum in Betracht kommen. Höchstens darf man aus dem angeführten Zeugniss schliessen, dass derselbe 1625 ein Mikroskop besessen hat. Wir haben aber gesehen, dass ein von Drebbel verfertigtes Mikroskop ein Jahr vorher nach Rom gekommen war.

Was Galilei betrifft, so ist man lange in Zweifel darüber gewesen, ob die von ihm verfertigten Mikroskope seine eigene Erfindung waren,

oder ob die Erfindung eines Anderen ihm bekannt wurde und er dann ein solches Instrument nachbildete. Das Letztere ist der Fall in Betreff der Teleskope, deren Erfindnng bekanntlich auch Galilei zngeschrieben worden ist; das ist unwiderleglich dargethan durch die Untersnchungen van Swinden's (*Nieuwe Verhandelingen der eerste Klasse van het koninglyk Nederlandsch Instituut*, 1831, III, p. 103; im Auszuge in Schuhmacher's Jahrb. f. 1843, S. 57). Man kann sich auch denken, dass Galilei, nachdem er mit dem im Jahre 1608 in Holland erfundenen Teleskope bekannt war, bald nachher fast von selbst, ohne fremde Beihülfe, ein Instrument hergestellt hat, welches zur Beobachtung naher Gegenstände geeignet war. Das Teleskop lässt sich ja leicht in eine Art Mikroskop verwandeln: die beiden convexen Gläser brauchen nur weiter von einander entfernt zu werden durch Ausziehen des Rohres, und man kann nahe Gegenstände vergrössert damit wahrnehmen. Das scheint aber bereits 1610 Giantonio Magini gethan zu haben; denn in einem Briefe desselben vom 10. September 1610 an Galilei kommt folgende Stelle vor: *Allungando il cannone alla doppia distanza di quella che porta, e levando via il traguardo o lente concava, si vedono tutte le cose alla rovescia e molto distinte, se ben picciole.* (S. *Opere complete di Galileo.* T. VIII, p. 106.) Sicher ist es wenigstens, dass Galilei selbst in dem zuerst im Jahre 1623 in Rom gedruckten *Saggiatore* (*Opere complete.* T. IV, p. 248) eines Teleskopes erwähnt, welches dazu diente, in der Nähe befindliche Gegenstände weit besser als mit blossem Auge zu sehen. Ein solches Instrument kann man Mikroskop nennen, wenn man will; auch hat man dergleichen noch in späterer Zeit verfertigt und mit dem Namen polydynamischer Mikroskope belegt, da man das Instrument durch Schieben des Rohres den verschiedenen Entfernungen anpassen kann. Ein solches Teleskop-Mikroskop ist aber doch verschieden vom eigentlichen zusammengesetzten Mikroskope, welches aus einem Oculare und einem Objective von kurzer Brennweite besteht, bei deren Verbindung das ganze Instrument nur eine mässige Länge zu haben braucht, und wo ausserdem die Vergrösserung grösstentheils durch das Objectiv und nur zu einem kleinen Theile durchs Ocular erreicht wird.

Vielleicht ist auch jenes Mikroskop, welches Galilei nach dem Zeugniss seines Schülers und bewundernden Freundes Viviani im Jahre 1612 an den König von Polen schickte, ein solches Teleskop-Mikroskop gewesen; immer aber war es auch dann von späterem Datum, als jene Instrumente, welche nach dem Zeugniss Boreel's durch Hans und Zacharias Janssen hergestellt wurden*).

---

*) Libri (*Hist. des Sc. mathématiques en Italie*) nennt die in Boreel's Briefe über Hans und Zacharias Janssen enthaltenen Mittheilungen „*des témoignages beaucoup trop postérieurs*", und glaubt sie damit vollständig wider-

Alle Zweifel über die Zeit, in welcher Galilei das eigentliche zusammengesetzte Mikroskop kennen gelernt hat, sind nun aber völlig beseitigt, nachdem die oben besprochenen Briefe von Peiresc durch Rezzi bekannt gemacht worden sind, der mit anzuerkennender Unparteilichkeit gewiss mit vollem Rechte daraus folgert: „dass das zusammengesetzte Mikroskop im April 1624 in Rom noch so neu und unbekannt war, dass Niemand damit umzugehen wusste, in Rom, wo sich Galilei 1611 gegen zwei Monate aufgehalten und seine neuen Entdeckungen bekannt gemacht hatte, wo nicht wenige gelehrte Mitglieder der *Academia dei Lyncei* und andere Verehrer der Wissenschaften lebten, die dort ein neues Leben her-

---

legt zu haben, er vergisst aber, dass es sich hier um die Mittheilung eines Augenzeugen handelt, und zwar eines Mannes, der als Staatsmann und Gelehrter eine hohe Stellung einnahm und vollkommen glaubwürdig war. Dieser Tadel passt aber auch eher auf Viviani als auf Boreel; denn Ersterer wurde erst 1622 geboren, zehn Jahre später, als Galilei seine Erfindung gemacht haben soll, während Boreel 1591 geboren ist und aus persönlicher Anschauung Mittheilungen machen konnte. Auch spricht es nicht für die Zuverlässigkeit der Quellen, aus denen Viviani schöpfte, dass er sich in der Person irrt, an die Galilei sein erstes Mikroskop geschickt haben soll (s. S. 21). Endlich schrieb Viviani seine Lebensbeschreibung Galilei's 1654, und 1717 wurde sie gedruckt; die Elogia aber, worin des an den polnischen König gesandten Mikroskopes Erwähnung geschieht, wurden erst 1693 geschrieben. Die Schrift von Pierre Borel dagegen erschien schon 1655.

Tiraboschi (l. c. VIII, p. 176) und nach ihm Libri zählen zu den Beweisen, dass das Mikroskop schon 1612 in Italien bekannt gewesen sei, auch eine Stelle in der im genannten Jahre in Venedig erschienenen Schrift: *Ragguagli di Parnaso di Trajano Boccalini*, welche so lautet: *Mirabilissimi sono quegli occhiali fabbricati con maestria tale, che alcuni fanno parere le pulci elefanti ed i pigmei giganti* etc. Aus diesen Worten entnimmt man noch nicht, ob hier eine einfache Linse oder ein Mikroskop gemeint ist. Alle Zweifel darüber schwinden aber durch das, was man weiterhin in dieser Schrift liest und was Rezzi (l. c. p. 35) mittheilt: *Questi (occhiali) avidamente sono comperati da alcuni soggetti grandi, i quali ponendoli poi al naso dei loro fortunati cortigiani, tanto alterano la vista di que' miseri, che rimunerazione di cinque cento scudi di rendita stimano il vil favoruccio, che dal padrone venga loro posta la mano nelle spalla, ò l'esser da lui rimirati con un ghigno, ancor che artificioso e fatto per forza.* Hier ist also von keinem zusammengesetzten Mikroskope die Rede, sondern nur von einem Instrumente, welches auf der Nase getragen wurde, also von einer Art Brille.

Vielleicht war das auch ein solches Instrument, oder auch ein einfaches Mikroskop oder eine Lupe, dessen Johannes Vodderbornius, ein Schotte und früherer Schüler Galilei's in Padua, in einer vom 16. Oct. 1610 datirten Dedication an den englischen Gesandten Wotton in Venedig gedenkt. Diese Dedication, auf welche Rezzi aufmerksam gemacht hat, steht nämlich in: *Quatuor problematum quae Martinus Horky contra Nuntium Sydereum de quatuor planetis novis proposuit confutatio.* Patav. 1610. Vodderbornius sagt hier nämlich von seinem Lehrer: *Audiveram paucis ante diebus authorem ipsum excellentissimo D. Cremonino Purpurato philosopho varia narrantem scitu dignissima, et inter caetera quomodo ille minimorum animantium organa, motus et sensus eo perspicillo ad unguem distinguat.*

vorriefen, wohin alles Neue in Kunst und Wissenschaft den Weg fand, wie die Briefe und Schriften dieser Zeit, gedruckte und ungedruckte, darthun."

Hieraus und aus einer Reihe anderer Gründe, deren weitere Ausführung der Leser in Rezzi's Schrift selbst suchen muss, wird nun von Rezzi der Schluss gezogen, das zusammengesetzte Mikroskop könne nicht in Italien, also weder von Galilei noch von Fontana, erfunden, sondern es müsse von andersher dorthin gebracht worden sein*).

Hierin stimme ich ihm ganz bei, ich kann mich aber nicht mit seiner Ansicht befreunden, dass die Ehre dieser Erfindung Drebbel zukomme und nicht den beiden Janssen.

Dass Drebbel 1619 und in den folgenden Jahren selbst zusammengesetzte Mikroskope anfertigte, muss nach den Zeugnissen von Boroel und von Peiresc als ausgemacht angenommen werden; doch beweist dies noch nicht, dass Drebbel wirklich der Erfinder war. So etwas folgt weder aus den Worten von Huygens, die nur der Wiederklang einer in London verbreiteten Meinung sind, noch aus den Worten von Peiresc. Letzterer erwähnt in seinen Briefen nur der Augengläser (*Occhiali*) Drebbel's, als von diesem selbst verfertigter Instrumente, ohne ihn indessen ausdrücklich als Erfinder zu bezeichnen. Hätte aber auch Peiresc dieses gethan, so würde er nur in den allgemeinen Irrthum seiner Zeit verfallen sein, worin er durch die Mittheilungen Kuffler's bestärkt wurde, eines Verwandten oder nach Rezzi (l. c. p. 7) eigentlich des Schwiegersohnes von Drebbel.

Vergleicht man mit diesen auf blossen Gerüchten beruhenden Ansprüchen das bestimmte und offene Zeugniss von Willem Boreel, welches in dem vorhin (S. 23) mitgetheilten Briefe niedergelegt ist, so kann

*) Dass das Mikroskop 1624 in Italien noch ganz unbekannt war, erhellt auch daraus, dass Galilei in diesem Jahre ein Mikroskop an Bartolomeo Imperiali in Genua schickte, der sich in seinem Danksagungsbriefe rühmte, der Einzige in Genua zu sein, der einen solchen Schatz besässe. Galilei sandte ferner etwa um die nämliche Zeit auch ein Mikroskop an Cesare Marsigli und bemerkte dabei, „dass ein solches Instrument nur von ihm zu bekommen sei und von dem Goldschmiede, der das Rohr dazu gemacht hätte." Ferner schickte auch Galilei am 23. Sept. 1624 ein Mikroskop an Federico Cesi, und in dem Begleitbriefe (abgedruckt im *Giornale dei Letterati* von 1749 und wiederholt bei Rezzi a. a. O. S. 47) erwähnt er zum ersten Male, dass es ihm Mühe gekostet habe, die rechte Methode des Linsenschleifens herauszufinden, was doch wohl nicht geschrieben worden wäre, wenn sich Galilei schon seit vielen Jahren mit der Verfertigung solcher Mikroskope beschäftigt gehabt hätte. Es ist dieser Begleitbrief aber auch noch deshalb merkwürdig, weil aus der Beschreibung des Instrumentes und der Anweisung zu seinem Gebrauche auf überzeugende Weise hervorgeht, dass es vollkommen mit jenem Instrumente übereinstimmt, welches Peiresc nach Rom geschickt und welches Galilei einige Monate vorher gesehen hatte.

meines Erachtens nicht daran gezweifelt werden, dass Hans und Zacharias Janssen die ersten und wahren Erfinder des zusammengesetzten Mikroskopes waren; Drebbel hat nur ein von ihnen verfertigtes späterhin nachgemacht. Willem Boreel tritt hier als Augenzeuge auf: er hat Hans und Zacharias Janssen und ebenso Drebbel persönlich gekannt; den Sohn Zacharias nennt er seinen Spielkameraden, den Drebbel bezeichnet er aber, bei Gelegenheit seiner Gesandtschaft nach London, als *„mihi familiaris"*.

Wenn Peiresc und Boreel das nämliche Maass von Glaubwürdigkeit beanspruchen können, so hat sicherlich des Letzteren Zeugniss über Sachen, die er selbst gesehen und aus dem Munde genau damit bekannter Personen gehört haben will, das meiste Gewicht. Denn Peiresc, wenn auch in gutem Glauben, gedenkt in seinen Briefen nur dessen, was ihm zu Ohren gekommen war, ohne dass er den Erfinder persönlich kannte. Es könnte auch nicht Wunder nehmen, wenn noch mehrere derartige Briefe von Anderen aus dieser Zeit gefunden würden, in denen man ebenfalls Drebbel als Erfinder des Mikroskopes bezeichnete; es würden alle solche Zeugnisse, falls nicht Einzelnheiten näher darin angegeben würden, nichts weiter darthun können, als dass der Name des wahren Erfinders damals noch nicht bekannt war und Drebbel als solcher galt*).

Ist es nun auch nicht mehr in Zweifel zu ziehen, dass die Erfindung 14
des zusammengesetzten Mikroskopes in Holland jener der Teleskope um mehrere Jahre vorausging, also auch der Verfertigung eines Mikroskopes durch Galilei, so fällt es doch sehr schwer, das Jahr genau anzugeben, in welchem die Erfindung wirklich stattgefunden hat.

---

*) Der Hauptgrund, den Rezzi gegen das Zeugniss von Boreel geltend machen will, ist folgender. Boreel habe in dem nämlichen Briefe nicht nur die Erfindung des Mikroskopes, sondern auch jene des Teleskopes dem Hans und Zacharias Janssen zugeschrieben, und sie sollten diese Erfindung etwa um das Jahr 1610 gemacht haben; Galilei sei es aber bereits 1609 bekannt gewesen, dass man dieses Instrument in Holland erfunden hatte. Dem lässt sich selbst noch hinzufügen, dass es seit den Nachforschungen van Swinden's (S. 24) als ausgemacht gelten kann, dass die Erfindung wirklich 1608 und zwar fast gleichzeitig durch Johannes Lippershey in Middelburg und durch Jacob Metius in Alkmaar erfolgte. Boreel's Brief enthält somit eine Unwahrheit. Doch ist es gewiss nicht gerechtfertigt, wenn man aus diesem Grunde ihn ganz als Zeugen verwerfen will. Was Boreel über die Erfindung der Teleskope angiebt, verräth weit weniger persönliche Bekanntschaft mit der Sache. Er erzählt nur mit gutem Glauben, was er von Anderen, denen er seinerseits glaubte, darüber gehört hatte. Hätte er, oder hätten die Anderen in der That täuschen wollen, dann hätten sie die Erfindung auf eine frühere Zeit verlegt, statt sie zwei Jahre nach der wirklichen Erfindung anzusetzen. Boreel's Irrthum in dieser Beziehung darf daher seiner Glaubwürdigkeit in Dingen, wo er die Personen und die Sachen gekannt hat, keinen Eintrag thun.

Aus Boreel's Zeugniss ersieht man nur, dass diese Erfindung lange vor 1610 fällt, und dass erst der Statthalter Moritz, dann aber der Erzherzog Albrecht jeder ein solches Mikroskop geschenkt erhielten. Letzter wurde 1595 zum Generalgouverneur ernannt, kam aber erst 1596 nach Brüssel. Drebbel verliess 1604 sein Vaterland, begab sich an den Hof des Königs Jacob von England, verliess diesen aber nach einigen Jahren wieder und zog nach Prag. Wahrscheinlich während seines Aufenthaltes in Prag erhielt Drebbel vom Erzherzog Albrecht das von Hans und Zacharias Janssen empfangene zweite Mikroskop. Das ist alles, was wir von der Geschichte dieses zweiten Mikroskopes wissen, das also nicht vor 1596 an den Erzherzog und nicht vor 1604 an Drebbel gekommen sein kann.

Ueber das erste Mikroskop, welches Prinz Moritz erhalten hatte, lässt sich noch weniger etwas Sicheres vermuthen. Moritz folgte bereits 1584 seinem Vater, also wahrscheinlich mehrere Jahre vor der Erfindung des Mikroskopes. Boreel, der 1591 geboren war, führt nämlich seinen Spielgenossen Zacharias Janssen ausdrücklich mit als Erfinder auf. Angenommen nun, Zacharias sei nur ein Paar Jahre älter gewesen als Borel, und es habe die Erfindung etwa in seinem 15. Jahre statt gehabt, so würde man dieselbe kaum früher als im Jahre 1600 annehmen können. Da nun Moritz 1605 nach Zeeland kam, wo auf Kosten der Staaten ein Lager abgehalten wurde (*Aanmerkingen op Wagenaar's Vaderlandsche Historie* IX, p. 89; p. 182 der *Aanmerkingen*), so darf man auf die Vermuthung kommen, dass er in diesem Jahre das Mikroskop geschenkt erhielt.

Man hat aber Gründe, anzunehmen, dass Zacharias Janssen bei der Geburt des Boreel nicht mehr so jung war, als des Letzteren Angaben im Ganzen anzudeuten scheinen. Unter den übrigen bei Pierre Borel aufgeführten Zeugnissen kommt zwar keins vor, worin der Erfindung des Mikroskopes gedacht wird, selbst nicht in den Zeugnissen des Sohnes und der Schwester des Zacharias. Das darf aber nicht Wunder nehmen, da jene Zeugnisse in gerichtlicher Form aufgenommen wurden und die vorgelegten Fragen nur auf die Erfindung des Teleskopes Bezug hatten. Aus dem Zeugnisse des Sohnes Johannes Zachariassen ersieht man aber doch, dass dessen Vater Zacharias 1590 schon ein ausreichendes Alter gehabt haben muss, um etwas zu erfinden. Dasselbe lautet nämlich: *Et primo praedictus Joannes Zacharides affirmavit, illa telescopia primum esse inventa et confecta a patre suo, cui nomen erat Zacharias Joannides, idque contigisse (ut saepe inaudiverat) in hac civitate anno Christi 1590. Quod tamen longissimum telescopium illo tempore confectum non excessit quindecim aut sedecim pollicum longitudinem. Affirmavit tunc, duo talia telescopia oblata fuisse, unum videlicet Illustrissimo Principi Mauritio, alterum vero Archiduci Alberto, et tantae*

similis longitudinis telescopia in usu fuisse usque in annum 1618. *Tunc eum demum (ut affirmabat hic testis) ipse et pater ejus, nempe praedictus Joannes Zacharias Joannides invenerunt fabricam et compositionem longiorum telescopiorum, quibus etiam nunc utuntur nocte ad inspiciendas stellas et lunam* etc.

Bereits van Swinden hat darauf hingewiesen, dass in diesem Zeugnisse ein Paar Widersprüche mit Boreel's Brief vorkommen, die ihn nöthigten, die Richtigkeit der Angabe, als habe Zacharias Janssen bereits 1590 die Teleskope erfunden, in Zweifel zu ziehen, und als das Richtigere anzunehmen, dass sowohl Jacob Metius in Alkmaar als Johannes Lippershey in Middelburg ziemlich gleichzeitig, etwa um 1608, die ersten Teleskope verfertigt haben. Man darf aber wohl soviel aus jenem Zengnisse entnehmen, dass im Jahre 1590 Janssen das eine oder das andere optische Instrument erfunden hat. Mir kommt es nun nicht unwahrscheinlich vor, dass dies das zusammengesetzte Mikroskop war, womit auch die angegebene Länge desselben im Vergleiche zu jener, welche Boreel dem bei Drebbel gesehenen Mikroskope zuschreibt, ganz übereinstimmt. Dass sein Sohn Johannes Zachariassen 65 Jahre später die Erfindnng des Mikroskopes mit der Erfindung des Teleskopes verwechselt habe, scheint keine allzu gewagte Vermuthnng zu sein. Diese Vermuthung hat um so mehr für sich, weil damals, wie es scheint, wo das Teleskop weit mehr bekannt war als das Mikroskop, beide Instrumente wohl unter dem gemeinschaftlichen Namen des Teleskopes begriffen wurden. So haben wir bereits oben (S. 24) gesehen, dass Galilei im Jahre 1623 ein „Teleskop" erwähnte, welches dazu eigerichtet war, dass man in der Nähe befindliche Gegenstände besser als mit blossem Auge sehen konnte, und noch im Jahre 1627, als das zusammengesetzte Mikroskop in Italien wohl bekannt war, bezeichnete nach Rezzi (l. c. p. 37) Nicola Aggiunti, Galilei's Schüler, dasselbe als Microtelescopium (*Oratio de mathematicae laudibus.* Rom. 1627). Auch finden wir in den Schriften aus der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts für Mikroskope und Teleskope immer den nämlichen Namen, nämlich *Ocularia* im Lateinischen, *Occhiali* bei den Italienern, *Kykers* und *Oogglazen* bei den Holländern.

Es ist Schade, dass De Kanter und Ab Utrecht Dresselhuys sich vergeblich bemüht haben, das Geburtsjahr des Zacharias Janssen aus den Taufregistern zu ermitteln. (*De Provincie Zeeland.* Middelburg 1824. *Bylage* p. 88). Doch fehlt es nicht an Beweisen dafür, dass er wirklich viele Jahre älter war als Boreel. Nach dem Zeugnisse des Sohnes, der 1655 ein Alter von 52 Jahren erreicht hatte, war Janssen im Jahre 1603, wo Boreel erst 12 Jahre zählte, bereits Vater. Hätte er sich mit 25 Jahren verheirathet, so wäre er 1577 geboren und im Jahre 1590 hätte er 13 Jahre gezählt. Als Boreel noch ein Kind war, konnte

Janssen schon ein ziemlich erwachsener Jüngling sein. Als Janssen's Todesjahr wird in der Schrift von De Kanter und Ah Utrecht Dresselhuys das Jahr 1642 angegeben; ist er also 1577 geboren, so würde er 63 Jahre alt geworden sein.

Noch ein auffallender Umstand, den ich nicht ganz mit Stillschweigen übergehen will, ist der, dass Johannes Zachariassen nur seinen Vater Zacharias als Erfinder nennt, und den Grossvater Hans oder Johannes gar nicht erwähnt. Dies lässt sich aber wohl daraus erklären, dass er seinen Grossvater nicht gekannt hat, der also schon vor oder bald nach 1603 gestorben sein müsste. In dieser Beziehung ist Boreel ebenfalls ein mehr zuverlässiger Zeuge; er erklärt, den Grossvater sehr gut gekannt zu haben und oftmals in seinem Laden gewesen zu sein.

Aus Allem ergiebt sich:

1. dass das zusammengesetzte Mikroskop gewiss mehrere Jahre vor 1610 in Middelburg erfunden worden ist;

2. dass sicherlich das zuerst verfertigte Mikroskop nicht vor 1584 an den Prinzen Moritz gekommen sein kann, und das zweite nicht vor 1596 an den Erzherzog Albrecht;

3. dass Manches dafür spricht, es habe die Erfindung schon 1590 stattgefunden.

15 Vielleicht ist es Herrn Rezzi ehrenvoller vorgekommen, Galilei's Ruhm an einen Mann wie Drebbel abzutreten, der den stolzen Titel eines Königlichen Mathematicus führte und seiner Zeit Vielen als ein grosser Gelehrter galt, als an ein Paar einfache Brillenschleifer; ich meinestheils lege weniger Werth auf diese verschiedenen Stellungen. Wenn wir Drebbel nach den Paar Schriften beurtheilen, welche er verfasst hat, so steht er sehr weit unter seinen grossen Zeitgenossen Galilei und Keppler. In diesen Schriften zeigt sich ein mystischer, grübelnder Geist, aber nur wenig echte Naturkenntniss. Hätte ihn der echte Trieb der Naturforschung beseelt, dann würde er das Mikroskop, welches jedenfalls schon 1619 in seinen Händen war, zu wissenschaftlichen Untersuchungen benutzt haben, wie es in Rom geschah, sobald man dort damit bekannt geworden war. Es würde zu weit abführen, wenn ich für dieses ungünstige Urtheil über Drebbel die nöthigen Beweise vorbringen wollte. Wenden wir uns daher in die Werkstätte der Brillenschleifer Hans und Zacharias Janssen, die nach meiner Meinung der eigentliche Schauplatz der Erfindung ist.

Schon drei Jahrhunderte früher waren die Brillen erfunden worden; sie waren überall in Gebrauch und in jeder nur irgend bedeutenden Stadt befanden sich Brillenschleifer (S. 18). Waren nun aber die vergrössernden Linsen schon seit Jahrhunderten in Gebrauch, so bedurfte es zur Er-

Digitized by Google

findung des Teleskopes wie des Mikroskopes weiter nichts, als dass zwei solche Linsen auf eine passende Weise vereinigt wurden.

Nach einer alten Sage soll das Mikroskop oder das Teleskop, oder es sollen beide zufällig erfunden worden sein, indem die Kinder eines Brillenschleifers mit zwei Brillengläsern spielten und sie über oder hinter einander hielten. Ich will auf dergleichen Sagen nicht mehr Gewicht legen, als sie verdienen; aber es lässt sich nicht verkennen, dass hier einiger Grund zu der Annahme vorhanden ist, es werde eher ein glücklicher Zufall zur Erfindung geführt haben, als eine Reihe philosophischer Betrachtungen. Nur glaube ich den Zufall, dem man die Erfindung des Mikroskopes verdankt, auf eine etwas andere Art mir denken zu müssen. Bekanntlich werden Brillengläser und Linsen erst mit Substanzen von immer mehr zunehmender Feinheit geschliffen und dann polirt. Was ist nun natürlicher, als anzunehmen, die damaligen Brillenschleifer verfuhren wie die heutigen, sie betrachteten nämlich ihre Gläser durch ein anderes vergrösserndes Glas, um sich davon zu überzeugen, ob noch Risse da wären und ob die Oberfläche gut polirt sei. Und musste es nicht dem einen oder dem andern bei dem so oft sich wiederholenden Vorgange augenfällig werden, dass die unter den Gläsern befindlichen Dinge, wenn diese Gläser zufällig in der gehörigen Entfernung von einander waren, sich stärker vergrössert darstellten, als wenn sie durch ein einfaches Glas betrachtet wurden? Wenn wir die Sache so ansehen, dann muss man sich wohl eher darüber wundern, dass drei Jahrhunderte bis zu dieser Erfindung vorübergehen konnten, als dass zuletzt ein einfacher Brillenschleifer wirklich diese Erfindung machte.

Es muss gewiss befremden, dass die Erfindung eines Instrumentes, 16
wodurch dem untersuchenden Auge eine ganz neue Welt erschlossen wurde, zuerst so wenig Aufmerksamkeit erregte, dass sein Vorhandensein Jahre lang kaum ausserhalb des Wohnortes der Erfinder bekannt war.

Weder in Keppler's *Dioptrice*, welche zuerst 1611 erschien, noch in des Syrturus*) *Telescopium sive ars perficiendi novum illud Galilei visorium instrumentum ad sidera* etc. Francof. 1618, worin vom Teleskope und vom Schleifen der Teleskopgläser die Rede ist, findet sich etwas aufgezeichnet, was auf deren Bekanntschaft mit dem Mikroskope hindeutet.

*) Syrturus wohnte in Mailand und bereiste Italien, Spanien, Deutschland und Holland, um alle Formen der Linsen und der optischen Instrumente kennen zu lernen. In Middelburg verweilte er einige Zeit bei Lippershey, in Neapel bei Porta, in Rom bei Cesi und bei Galilei. Vom Letzteren erzählt er (p. 27), dass er ihm die Linsen aus dem Rohre des Teleskopes herausnahm, so dass er sie auf seinem Zimmer untersuchen und messen konnte. Er schweigt aber ganz vom Mikroskope, und dies kann fast als vollgültiger Beweis gelten, dass dieses Instrument damals in Italien noch nicht bekannt war.

Digitized by Google

Es muss aber um so mehr befremden, wenn wir sehen, dass **Keppler** mit den Gesetzen, welchen das Licht beim Durchgange durch mehrere convexe Linsen folgt, schon ganz gut bekannt war. Er lehrt nicht nur, sondern erläutert auch durch Abbildungen, „wie man durch zwei convexe Linsen die Objecte grösser und deutlicher, aber umgekehrt sieht," und er giebt ferner an, „wie man drei convexe Linsen stellen muss, um die Objecte grösser und deutlicher, zugleich aber auch in der natürlichen Stellung zu sehen." (**Keppler**, *Dioptrice seu demonstratio eorum, quae visui et visibilibus propter conspicilia non ita pridem inventa accidunt* etc. Aug. Vindel. 1611, p. 41, 45.) Ich muss aber bemerken, dass es ihm offenbar nur darum zu thun war, nachzuweisen, ein Teleskop könne auch aus convexen Linsen zusammengesetzt sein, statt aus convexen und concaven, deren man sich bis dahin bedient hatte.

In der That scheinen viele Jahre verflossen zu sein, bevor das Mikroskop allgemein bekannt wurde, und es verfloss selbst ein noch längerer Zeitraum, bevor einzelne damit vorgenommene Untersuchungen öffentlich bekannt gemacht wurden. Wenn Holland stolz darauf sein darf, das Vaterland des Teleskopes und Mikroskopes zu sein, so gebührt dagegen Italien die Ehre, unter seinem Himmel die ersten Früchte für die Wissenschaft durch beide Instrumente gesammelt zu haben. **Galilei** richtete sein Teleskop nach dem Himmel und entdeckte das System der Jupitersmonde. **Francisco Stelluti** untersuchte schon 1625, also ein Jahr, nachdem das Mikroskop nach Rom gekommen war, verschiedene Theile der Honigbiene damit und machte seine Beobachtungen bekannt *).

Nach Köln soll 1638 das erste Mikroskop aus England gekommen sein. **Leibnitz** (*Otium Hannov.* p. 185) erzählt nämlich: *P. Johanninus mihi narravit, quemdam Judaeum medicinae doctorem primum microscopium ex Anglia Coloniam attulisse anno* 1638.

Den Grund, warum das Mikroskop der gelehrten Welt so lange unbekannt geblieben ist, kann man zum Theil darin finden, dass die Erfinder dem niedern Stande angehörten. Meines Erachtens giebt es aber noch andere Gründe dafür. Erwägen wir nämlich, welchen gewaltigen Eindruck überall die Erfindung des Teleskopes hervorbrachte, so dass

---

*) *Apiarium ex frontispiciis naturalis theatri principis Federici Caesii Lyncei, S. Angeli et S. Poli Principis I, Marchionis montis Caelii II, Baronis Romani depromptum, quo universa mellificum familia ab suis prae-generibus derivata, in suas species ac differentias distributa in physicum conspectum adducitur. Franciscus Stellutus Lynceus Fabrianensis microscopio observavit. Romae, superiorum permissu, anno* 1625. Auf dem von **Greuter** gestochenen Titelblatte steht noch: *Urbano* VIII *Pontifico maximo accuratior* ΜΕΛΙΣΣΟΓΡΑΦΙΑ *a Lynceorum Academia perpetuae devotionis symbolum offertur.* S. über **Stelluti**: *Odescalchi*, *Memorie istorico-critiche dell' accademia de' Lincei.* Roma 1806, und **Horkel**, Monatsber. d. Berl. Acad. Mai 17. 1841.

wenige Jahre nach dessen Erfindung bereits mehrere Schriften darüber und über die damit gemachten Entdeckungen erschienen waren, so wird es wahrscheinlich, dass gerade die ziemlich gleichzeitige Erfindung beider Instrumente der Grund gewesen ist, weshalb jeder nach dem Teleskope griff, um die Wunder zu schauen, welche sich dadurch in den Räumen des Himmels aufthaten. Jeder hatte den Blick nach oben gerichtet, und man vergass deshalb jenes niedrige Werkzeug, wodurch man gebückten Hauptes nach scheinbar unbedeutenden und meistens verachteten Dingen schaute. Erst nachdem man im Gebrauche der Teleskope sich einigermaassen ersättigt hatte, als sich vielleicht Viele enttäuscht sahen, die in ihren überspannten Erwartungen davon geträumt hatten, noch viel mehr mit diesem Instrumente sehen zu können, als nur überhaupt möglich ist*), als daher seine Benutzung sich auf jene einschränkte, die es auf eine wahrhaft wissenschaftliche Weise zu benutzen verstanden, dann erst wandte sich der Haufe derer, die nach neuen und ungehörten Sachen verlangten, dem fast vergessenen Mikroskope zu. Aber erst dann, als Hooke, Malpighi, Leenwenhoek und Grew ihre unsterblichen Werke bekannt machten, fing man an einzusehen, dass die Wissenschaft mit der Erfindung des Mikroskopes Grosses gewonnen hatte, erst da begriff man es, dass, gleichwie das Teleskop das Gebiet des Auges in der Ferne erweiterte, so das Mikroskop ein tieferes Eindringen des Auges zur Folge hatte.

Zahlreiche Veränderungen und Verbesserungen kamen allmälig zu Stande. Um diese in gehöriger Ordnung vorzuführen, wird es nöthig, die weitere Geschichte einer jeden Mikroskopart einzeln durchzugehen.

*) Meinte doch noch Descartes (*Oeuvres publiées par V. Cousin.* V, p. 130), dass man mit dem Teleskope die kleinen Körper auf den Sternen eben so deutlich werde unterscheiden können, als die Körper auf der Erde, wenn es nur gelingen sollte, hyperbolische Linsen für das Instrument zu verwenden.

Digitized by Google

Vierter Abschnitt.

Das einfache dioptrische Mikroskop.

---

17 Wir haben bereits gesehen, dass die Kenntniss des Vergrösserungsvermögens convexer durchsichtiger Körper und selbst linsenförmiger Gläser ins hohe Alterthum hinaufreicht; ich habe aber auch die Bemerkung hinzugefügt, dass die eigentliche Geschichte des einfachen Mikroskopes erst von dem Zeitpunkte anfängt, wo man Linsen mit ziemlich kurzem Focus herzustellen unternahm, wodurch eine bedeutendere Vergrösserung erreicht wurde, und dass man wahrscheinlich erst nach und in Folge der Erfindung des zusammengesetzten Mikroskopes hierzu gekommen ist.

Die ersten einfachen Mikroskope, von denen wir Nachricht haben, waren sehr wenig geeignet zu Beobachtungen, da ihnen die Mittel abgingen, den Abstand zwischen Linse und Object zu ändern. Zahn (*Oculus artificialis.* Herbipoli 1685. Fund. III, p. 109; eine vermehrte Ausgabe erschien 1702 in Nürnberg) zählt sie daher zu den *Microscopia ludicria*, im Gegensatz zu den *Microscopia seria.* Sie heissen bei Zahn (Fund. II, p. 168) auch *Engyscopia*, welchen Namen in neuerer Zeit Goring wieder aufgewärmt oder auch wohl selbst ausgedacht hat. Dieselben bestanden aus einem kurzen Rohre, mit einer Linse an dem einen Ende und einem flachen Glase am andern Ende, auf welchem letzteren ein kleines Object, etwa ein Floh, eine Mücke, festgeklebt war (Fig. 1); daher sie auch als *Microscopia Vitra pulicaria* oder als *Vitra muscaria* bezeichnet werden. Aus der Beschreibung von Hevelius (*Selenographia.* Gedani 1647. Lib. 2, p. 43) ersieht man, dass diese Mikroskope etwa

Fig. 1.

Vitrum pulicarium.

Digitized by Google

einen Zoll Länge hatten, die Linse aber das Segment einer Kugel von zwei Zoll Durchmesser war. Sie vergrösserten demnach 9 bis 10 Male *).

Ein solches *Vitrum pulicarium* gab einmal zn einem sonderbaren Auftritte Veranlassung, den uns der Jesnit Schot in der *Magia universalis naturae et artis.* Bamb. 1677, p. 534 mittheilt. Ein gelehrter und durch seine Schriften bekannter Mann reiste aus Holland durch Bayern und Oesterreich nach Tyrol, wo er von einem Fieber befallen wurde; er musste daher auf einem Dorfe bleiben und starb daselbst. Bevor die Bewohner die Leiche zur Erde bestatteten, schritt der Schulze mit dem Gemeinderathe zur Untersuchung der Effecten des Verstorbenen, und darnnter fanden sie auch ein solches *Vitrum pulicarium.* Der Schulze und die Anderen entsetzten sich bei diesem Anblicke; sie erkannten in dem Verstorbenen einen Giftmischer, der den Teufel in einem Gläschen eingeschlossen mit sich umhertrng und wollten ihm das Begräbniss verweigern. Während man sich noch darüber stritt, wurde das Instrument durch Zufall oder anch wohl absichtlich geöffnet, und es kam ein Floh zum Vorschein, den man für den Teufel angesehen hatte. Durch Zahn (l. c. Fund. III, p. 109) erfahren wir, dass der Mann, dessen Mikroskop den armen Bewohnern des österreicbischen Dorfes einen solchen Schrecken einjagte, niemand anders gewesen ist, als Scheiner, der gelehrte Verfasser der im Jahre 1630 erschienenen *Rosa ursina.*

---

*) Aus der vergrösserten Abbildung einer Laus bei Thomas Muffetus, *Theatrum insectorum sive minimorum animalium.* Lond. 1634. p. 259, scheint aber hervorzugehen, dass man schon damals Linsen mit einem weit kürzeren Focus, die also auch stärker vergrösserten, benutzte. Nach der Länge von 56 Millimeter zu urtheilen, muss die Abbildung wahrscheinlich bei einer 25- bis 30maligen Vergrösserung stattgefunden haben. Dass aber kein zusammengesetztes Mikroskop, sondern nur eine einfache Linse benutzt wurde, das scheint durch eine Stelle in dem vorausgeschickten Briefe des Herausgebers Theodor de Mayerne an William Paddy bewiesen zu werden, wo nur von der Bentzung einfacher Linsen zur Untersuchung die Rede ist. Die Stelle ist auch in anderer Beziehung merkwürdig und lautet so: *Atque adeo si conspicilia ex Crystallo φακοειδῆ (quantumvis lynceis oculis in perscrutandis atomis necessaria) sumas, miraberis cataphractorum pulicum obscure rubentem habitum, cum dorso setis rigente et cruribus hispidis, et inter duas antennas prominentem tubum carnificem, amaram puellarum luem, humanae quieti in somnis praesertim inimicissimam. Pediculorum oculos prominentes cernes et cornua, crenatum corporis ambitum, totam substantiam diaphanam, per quam cordis et sanguinis tanquam in Euripo indesinenter fluctuantis motum. Patebunt tibi petulantium pediculorum cancriformium plana corpuscula, cum harpagonibus quibus, cutim humanam perpetuo inter pilos ore lancinantes, adhaerent tenacius quam Lepades affixae scropulis. Imo ipsi acari prae exiguitate indivisibiles, ex cuniculis prope aquae lacum quos foderunt in cute, acu extracti et ungui impositi, caput rubrum et pedes quibus gradiuntur, ad solem produnt.* — Dies ist gewiss das erste Mal, wo vom Klopfen des Rückengefässes und vom Blutumlaufe, bei einem Insecte durch das Mikroskop wahrgenommen, die Rede ist. Die hier erwähnten Krätzmilben waren auch noch älteren Autoren bekannt.

Man hatte auch Mikroskope mit einer einfachen Linse, die sich am Ende eines Rohrs befand, mit solcher Einrichtung, dass eine Scheibe, auf der sich verschiedene Objecte befanden, sich um eine Axe herumdrehte und so immer andere Objecte in den Focus der Linse brachte. Ein solches Mikroskop war das *Microscopium parastaticum* des Athanasius Kircher (*Ars magna lucis et umbrae.* Amstelod. 1671. Lib. X, Pars 3, p. 770), das sich auch bei Zahn (l. c. p. 111) abgebildet findet. Man hatte auch Mikroskope von der nämlichen Form, wie man sie noch jetzt bei Brillenverkäufern findet (Fig. 2), nämlich eine in einen Ring gefasste Linse, die auf einem mit einem Fusse versehenen Säulchen ruht; das Object aber, etwa irgend ein kleines Insect, wurde an einer Spitze befestigt, die sich hinter der Linse in deren Focus befand. Das Instrument wurde auch wohl so eingerichtet (Fig. 3), dass es aus einer kurzen gläsernen Röhre bestand, die auf einem Fusse ruhte und durch einen Deckel geschlossen wurde; im letzteren befand sich eine Linse mit ziemlich weitem Focus, durch die man die kleinen Thierchen auf dem Boden des Instrumentes betrachten konnte. Man nannte sie dann Mikroskopbüchschen, *Tombeaux ou Cimetières des petits animaux.* Bei Joblot (*Descriptions et Usages de plusieurs nouveaux microscopes.* Paris 1718) sind mehrere solche *Tombeaux* abgebildet, ebenso bei Zahn (l. c. p. 112) und in Ledermüller's *mikroskopischer Gemüths- und Augenergötzung.* Nürnberg 1761.

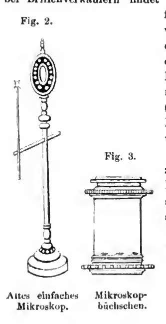


Fig. 2. Altes einfaches Mikroskop.

Fig. 3. Mikroskopbüchschen.

Es ist überflüssig, hier noch andere derartige Instrumente zu beschreiben. Bei Zahn kann man noch einige *Microscopia valde curiosa et ludicria* beschrieben und abgebildet finden. Es gab z. B. eins, wo man die Stadt Jerusalem durch eine Linse betrachten konnte. Es ist klar genug, dass das einfache Mikroskop in dieser Einrichtung nicht dazu geeignet war, irgend genaue Untersuchungen damit anzustellen.

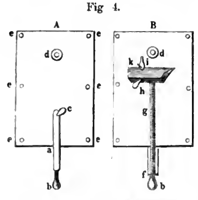
18 Einer der ersten gab Anton van Leeuwenkoek dem einfachen Mikroskope eine solche Einrichtung, dass es zu wissenschaftlichen Untersuchungen benutzbar wurde. Wann er angefangen hat, Mikroskope herzustellen und damit zu beobachten, ist ungewiss; seine erste Schrift (*Phil. Transact.* VIII.) ist vom Jahre 1673, wo er schon 41 Jahr alt war. Ueber ihn ist nachzusehen: Isaac van Haastert, *Anth. van Leeuwenhoek ver-*

Digitized by Google

eerend herdacht. 1823, und H. Halbertsma, *Diss. de Leeuwenhoekii meritis.* 1843. Es ist hier nicht der Ort, auf seine Verdienste als mikroskopischer Beobachter näher einzugehen; ich beschränke mich darauf, die Einrichtung seiner Mikroskope näher zu betrachten, die von den damals gebräuchlichen sowohl wie von den jetzt gebräuchlichen abweichen. Die Linsen hat Leenwenhoek selbst geschliffen, nicht bloss aus Glas, sondern auch aus Bergkrystall. Sie müssen sich sehr durch Reinheit und Helligkeit ausgezeichnet haben; dafür sprechen eben sowohl die Zeugnisse der Zeitgenossen (s. Folkes in den *Phil. Transact.* XXXII, p. 446), als auch viele der damit ausgeführten Beobachtungen.

Leenwenhoek hatte eine ganz eigene Art, seine Linsen zu Mikroskopen einzurichten. Fig. 4 ist die Abbildung Baker's von einem der Mikroskope, welche Leeuwenkoek der *Royal Society* vermachte. *A* zeigt das Instrument von vorn, *B* von hinten. Die Linse befindet sich bei *d* in einem Loche zwischen zwei länglich viereckigen silbernen Platten, welche durch die kleinen Nägel *eeeeee* unter einander vereinigt sind. Mit der vorderen Platte ist ein silberner Streifen *a* durch die Schraube *c* verbunden, und der Streifen ist rechtwinkelig umgebogen, so dass er auf der anderen Seite bei *f* wieder sichtbar ist. (Vrgl. Fig. 5.) In diesem umgebogenen Theile steckt eine Schraube *g*, welche oben den kleinen Objecttisch *l* trägt. Hier befindet sich ein kleiner Stachel *i* zum Aufstecken oder zum Festkleben des Objectes, und durch eine kleine Handhabe *k* kann dieser Stachel umgedreht werden. Die Schraube *h* endlich, welche durch den kleinen Objecttisch geht und gegen die hintere Platte des ganzen Apparates anstösst, dient dazu, das Object in die gehörige Entfernung von der Linse zu stellen, wenn dasselbe durch die Schraube *g* in die erforderliche Höhe gebracht worden ist.

Fig. 4.

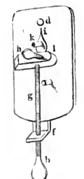


Leeuwenhoek'sches Mikroskop.

Ich habe einen solchen silbernen Leeuwenhoek bei Herrn R. T. Maitland gesehen; er hat ungefähr $^2/_3$ der Grösse des gleich zu beschreibenden messingenen Instrumentes, und stimmt ganz mit der von Baker gegebenen Beschreibung und Abbildung. Die Linse vergrössert 67 Male. Ausserdem kommen auf der silbernen Platte zwei Stempel vor, nämlich V mit einer Krone und 3. Wahrscheinlich sind dies Wahrzeichen für das Silber.

Fig. 5 ist eine aus van Haastert entlehnte Abbildung eines messingenen Leeuwenhoek'schen Mikroskopes, von der Hinterseite gesehen. Die Zusammensetzung ist im Ganzen wie bei dem oben beschriebenen silbernen; die gleichen Buchstaben bezeichnen die nämlichen Theile.

Fig. 5.



Leeuwenhoek'sches Mikroskop.

Von der Treue dieser letztern Abbildung habe ich mich durch Vergleichung mit einem Leeuwenhoek'schen Mikroskope in dem Utrechter physikalischen Cabinette überzeugen können. Die beiden auf einander liegenden messingenen Platten sind 4,5 Centimeter lang, 2,5 Centimeter breit und grob gearbeitet. Die Schraube, welche das Object in die gehörige Entfernung von der Linse bringen soll, ist ungefähr 1 Centimeter lang und hat auf diese Strecke nur 11 Windungen, so dass die gehörige Einstellung schwer fällt, und man muss sich in der That darüber wundern, dass Leeuwenhoek mit einem so unvollkommenen Instrumente so viele treffliche Beobachtungen auszuführen im Stande gewesen ist. Die Linse dieses Mikroskopes ist freilich sehr gut und ein Beweis dafür, dass Leeuwenhoek es in der Kunst, sehr kleine Linsen zu schleifen, bereits sehr weit gebracht hatte. Sie ist biconvex, wie die Linsen der 26 Mikroskope, welche Leeuwenhoek in seinem Testamente der Royal Society in London vermachte, und von denen Baker (*Employment for the Microscope*. Lond. 1753) Nachricht giebt. Für eine Sehweite von 8 engl. Zoll fand Baker bei diesen Mikroskopen 40malige Vergrösserung 1 Mal, 53mal. Vergr. 1 Mal, 57mal. Vergr. 2 Mal, 66mal. Vergr. 3 Mal, 72mal. Vergr. 2 Mal, 80mal. Vergr. 8 Mal, 100mal. Vergr. 3 Mal, 114mal. Vergr. 1 Mal, 133mal. Vergr. 1 Mal, 160mal. Vergr. 1 Mal. Die Linse im Utrechter Cabinette übertrifft aber die Londoner Linsen bei Weitem, denn sie vergrössert 270 Mal. Bei der Prüfung mit Nobert'schen Probeplättchen (I. §. 240. 41) zeigte es sich, dass bei günstiger Beleuchtung die dritte Gruppe noch ganz gut zu unterscheiden war, ja selbst die vierte mit einiger Mühe. Das ist wahrscheinlich die äusserste Grenze des optischen Vermögens der Leeuwenhoek'schen Mikroskope.

Aus der ganzen Einrichtung ersieht man übrigens, dass das Mikroskop mittelst der Hand gegen das Licht gehalten wurde; eines Spiegels für das durchfallende Licht scheint sich Leeuwenhoek niemals bedient zu haben. Uebrigens verfertigte er auch Hohlspiegelchen (Fig. 6) mit einer Linse in der Mitte, um bei auffallendem Lichte zu beleuchten (66. *Missive aan de Koninglyke Societeit te Londen*. 12. Jan. 1689). Diese Spiegelchen haben ganz die nämliche Einrichtung, wie jene späterhin

von Lieberkühn eingeführten, dem man gewöhnlich, aber mit Unrecht, die Erfindung derselben zuschreibt*).

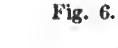
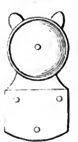


Fig. 6.



Leeuwenhoek's Hohlspiegel.

Mittlerweile hatten auch Andere die Unvollkom- 19
menheit der damals gebräuchlichen einfachen Mikroskope gefühlt und sie zu verbessern gestrebt. Solche angeblich verbesserte Einrichtuungen sind zahlreich angegeben worden, und die meisten finden sich in der zweiten Ausgabe von Zahn's *Oculus artificialis*, so wie im *Vollständigen Lehrgebäude der ganzen Optik* von C. L. D. F. B. L. O. 1757, worin eine grosse Anzahl dieser älteren Mikroskope in chaotischer Verwirrung beschrieben ist. Hier soll nur von jenen Verbesserungen die Rede sein, wodurch das einfache Mikroskop wirklich verbessert worden ist, in optischer oder auch in mechanischer Hinsicht.

Isaac Vossius, der nicht nur ein ausgezeichneter Philolog, sondern auch in der Naturkunde ziemlich bewandert war, Verfasser von: *De lucis natura et proprietate*. Amst. 1662, sowie der *Responsio*

*) Ich besitze zwei Exemplare vom Auctionskataloge der Leeuwenhoek'schen Mikroskope, deren Versteigerung Montags den 29. Mai 1747 stattfand. Eins von diesen Exemplaren muss wohl der Notar oder der Auctionator bei der Versteigerung benutzt haben; es ist mit weissem Papiere durchschossen, worauf die Namen aller Käufer und die gelösten Preise genau angegeben sind. Der Katalog ist etwas besser ausgestattet, als es jetzt zu geschehen pflegt: er ist auf dickes Schreibpapier gedruckt und vorn findet sich ein hübsches Kupfer, sowie Leeuwenhoek's Portrait. Der Text ist Holländisch und Lateinisch zugleich. Man entnimmt aus diesem Kataloge, dass Leeuwenhoek nicht weniger denn 247 vollständige Mikroskope hinterliess, deren jedes eine Linse und meistens auch ein Object enthielt, und ausserdem noch 172 bloss zwischen Platten enthaltene Linsen, zusammen also 419 Linsen. Drei von diesen Linsen sind aus sogenanntem Amersfoorter Diamanten, d. h. aus Bergkrystall verfertigt. Bei einem der Mikroskope ist angegeben, das Vergrösserungsglas sei aus einem Sandkorn geschliffen, und das davor befindliche Object sei auch ein Sandkorn. Bei zwei Mikroskopen ist angegeben, dass sie zwei Gläser haben, und ein anderes hat drei Gläser. So scheint also Leeuwenhoek auch Dublets und Triplets verfertigt zu haben, denn an ein eigentliches zusammengesetztes Mikroskop kann man bei seiner Einrichtung nicht denken. Mehr denn die Hälfte dieser Mikroskope (etwa 160) waren in Silber gefasst. Es finden sich auch drei goldene darunter: zwei davon wogen 10 Engels 17 As, das dritte 10 Engels 14 As. Eins der beiden ersteren wurde um 23 Gulden 15 Stüber verkauft, die beiden anderen blieben zurück. Das ist wohl das einzige Mal, wo ein Mikroskop nach dem Gewichte verkauft wurde. Die übrigen Mikroskope wurden paarweise verkauft, und zwar die messingenen zu 15 Stüber bis 3 Gulden das Paar, die silbernen zu 2 bis 7 Gulden das Paar. Der ganze Erlös betrug 737 Gulden 3 Stüber. Die Namen der Käufer zeigen, dass alle diese Mikroskope an Inländer gekommen sind; es ist deshalb zu verwundern, dass man jetzt nur noch so selten in Holland ein Leeuwenhoek'sches Mikroskop antrifft.

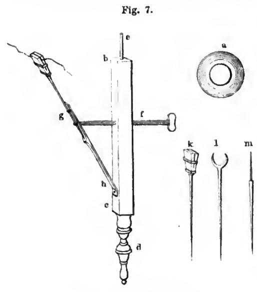
Digitized by Google

ad Objectiones Joa. de Bruin et Petiti. Hag. Com. 1663, componirte ein einfaches Mikroskop aus zwei in einander verschiebbaren Röhrchen; seine Absicht dabei war, er wollte die Entfernung zwischen Linse nnd Object veränderlich machen (Philippus Bonannus l. c. p. 16).

Zu den berühmteren Mikroskopverfertigern der damaligen Zeit gehört ferner Samuel Musschenbroek (s. Elsholt, *Miscell. Acad. Nat. Cur.* Ann. 1678 et 1679 p. 180), der von Boerhaave als der grösste und geschickteste Meister bezeichnet wird. Er scheint der erste gewesen zu sein, der das einfache Mikroskop mit einem Fusse versah, wodurch die Benntzung des Instrumentes eine wesentliche Verbesserung erfuhr. In der Biographie Swammerdam's, welche der von Boerhaave besorgten Ausgabe der *Biblia naturae* vorausgeschickt ist, wird Samuel Mnsschenbroek als der Verfertiger des Mikroskopes bezeichnet, dessen sich Swammerdam bediente. Es bestand ans einem messingenen Tische, anf dem zwei Arme standen: an den einen Arm kam das zu zergliedernde Object, an dem andern wurden die Linsen befestigt. Diese Arme waren nach allen Richtungen beweglich und liessen sich höher und tiefer stellen; doch giebt Boerhaave nicht an, wie diese Bewegungen ausgeführt werden konnten.

Auch Cosmus Conrad Cuno von Augsburg ist hier zu nennen als Verfertiger mehrerer Arten einfacher Mikroskope, die man in der zweiten Ausgabe von Zahn's *Oculus artificialis* p. 795 und im *Vollst. Lehrgeb. d. ganzen Optik* S. 360, Taf. 43 beschrieben und abgebildet findet. Die zweckmässigste Einrichtung hatte das Fig. 7 dargestellte Instrument. Hier ist *bc* ein vierseitiger hölzerner Stab, nnten mit einem Handgriffe *d* versehen, und oben mit einem messingenen Stifte *e*, nm einen die Linse enthaltenden Ring (*a*) darauf zu stecken. Es stellt ferner *gh* einen um ein Charnier beweglichen messingenen Arm dar, mit zwei Ringen, in die man kleine Instru-

Fig. 7.



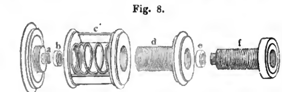
Cuno's einfaches Mikroskop.

Digitized by Google

mente zur Befestigung der Objecte steckt, namentlich einen Stachel (*m*), eine kleine Gabel (*l*), eine kleine Schieberpincette (*k*), zwischen welche kleine Glimmerlättchen eingeklemmt werden können. Die Regulirung des Abstandes zwischen der Linse und dem Objecte wird durch die Schraube *f* erzielt, wodurch der Arm *g h* dem hölzernen Stabe mehr oder weniger genähert wird.

Etwa um die nämliche Zeit gab Hartsoeker (*Essay de Dioptrique* Par. 1694. p. 175, Holländ. von Block. Amsterd. 1699. p. 166) die Beschreibung und Abbildung eines Mikroskopes (Fig. 8), welches in mancher Beziehung besser eingerichtet ist, als das Leeuwenhoek'sche. Es besteht aus einer an beiden Enden offenen Röhre *c*, mit einer Spiralfeder im Inneren, wodurch die Objecte oder die sie fassenden Schieber zwischen zwei durchbohrten kleinen Platten gefasst werden können, ganz so, wie es noch viele Jahre später gebräuchlich war. Die vergrössernde Linse steckt in einem besondern Röhrchen *b*, welches durch eine Schraube *a* in die dafür bestimmte Oeffnung befestigt wird. Das Object wird der Linse durch die Schraube *d* genähert. Zur besseren Beleuchtung ist gegenüber noch eine etwas grössere Linse *e* angebracht, deren Entfernung durch die Schraube *f* regulirt wird. Hartsoeker gebrauchte bei diesem Mikroskope verschiedene Linsen mit einem Focus von 3 bis 4 Linien bis zu $^1/_{10}$ Linie herab. Die letzteren, welche bis über 1000 Mal vergrösserten, waren ohne Zweifel keine Linsen, sondern Glaskügelchen.

Fig. 8.



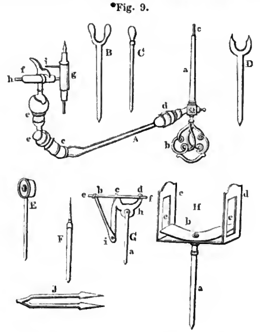
Hartsoeker's einfaches Mikroskop.

Besondere Erwähnung verdienen auch die Mikroskope des Leydener 20
Instrumentenmachers Johannes van Musschenbroek, eines Bruders des bekannten Professors Petrus van Musschenbroek, die man bei Zahn (l. c. p. 780), im *Vollst. Lehrg. d. Opt.*, S. 366 und 573, und bei Wolf (*Elementa matheseos.* 1735) beschrieben findet. Eins davon war ganz aus Messing zusammengesetzt, zum Gebrauche schwächer vergrössernder geschliffener Linsen bestimmt und im Besondern dazu eingerichtet, dass man das Object von allen Seiten sehen konnte. Musschenbroek's Mikroskop (Fig. 9 a. f. S.) hatte 6 bis 9 Linsen von verschiedener Vergrösserung und in runde Ringe gefasst. Die Linsen wurden bei *c* auf das Säulchen *a* geschraubt, welches mit dem abgeplatteten Handgriffe *b* gefasst wurde. Daran war ferner der Arm *A* befestigt, der aus mehreren Kugelgelenken *d e e e* bestand, wodurch Beweglichkeit nach allen

Digitized by Google

Seiten erzielt wurde. Das Ende dieses Armes trug eine Hülse *f* mit einem eingeklammerten Stachel *h*, an welchem noch eine zweite Hülse *g* sass. Ein Stachel *i* an dieser zweiten Hülse wurde durch einen Ring mit einer Elfenbeinscheibe gestochen, die auf der einen Seite weiss, auf der andern schwarz war, um verschiedenfarbige Objecte bei auffallendem Lichte damit betrachten zu können. In der kleinen Hülse *g* steckte noch eine andere etwas längere, die zur Aufnahme mehrerer kleiner zum Mikroskope gehöriger Nebenapparate bestimmt war: 1) der Apparat *H*, um Glastafeln und knöcherne Schieber mit aufliegenden Objecten durch die Stahlfeder *b* festklammern zu können; 2) eine in eine Spitze auslaufende Nadel *F*; 3) eine in zwei Spitzen auslaufende kleine Gabel *D*, die gleich der Nadel zum Befestigen weicher Körper, wie Insecten, Würmer u. s. w. bestimmt war; 4) ein in eine abgeflachte stumpfe Spitze auslaufendes kleines Instrument *C*; 5) ein ähnliches in zwei abgeflachte Spitzen auslaufendes Instrument *B*: beide waren dazu bestimmt, mittelst Terpentins zarte Objecte daran fest zu kleben; 6) ein Hornring *E* mit zwei Gläsern, einem concaven und einem geraden, um dazwischen lebende Thierchen zu bringen; 7) der bei *G* abgebildete Apparat mit drei kleinen Ringen von verschiedener Grösse bei *d* und mit gleichviel kleinen Häkchen bei *c*, zur Aufnahme eines gläsernen Röhrchens *ef* dienend, welches mit einer zur Untersuchung bestimmten Flüssigkeit gefüllt und durch die Stahlfeder *ib* festgehalten wurde; 8) eine Schieberpincette, wie die in Fig. 7, *k* abgebildete, sowie eine Pincette *J* zum Fassen der Objecte. Zu diesem Mikroskope gehörte also schon ein ziemlich vollständiger Satz von Hülfswerkzeugen für die Untersuchung der verschiedenen Arten von Objecten.

•Fig. 9.

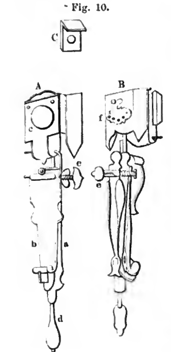


J. Musschenbroek's einfaches Mikroskop.

Digitized by Google

Ein anderes Mikroskop Musschenbroek's (Fig. 10) war ausdrücklich dazu bestimmt, die Benutzung stark vergrössernder Glaskügelchen zu erleichtern. Diese kommen nämlich zwischen zwei dünne, länglich viereckige Stückchen Messingblech *C*, und dieser kleine Apparat wird in die Oeffnung *c* des bei *A* abgebildeten Gestells geschoben. Sechs solche Glaskügelchen von verschiedener Grösse gehören zum Mikroskope. Das Gestell hat eine Handhabe *d*; die Annäherung der Linse aber wird durch die Schraube *e* und die Feder *b* bewirkt. Das Bemerkenwertheste an diesem Mikroskope ist jedoch, dass auf der Hinterseite *B* ein kleines Kästchen *f* befindlich ist, das je nach Bedarf auch weggenommen werden kann, und zum Reguliren der Beleuchtung dient, zu welchem Ende es aussen eine kleine um eine Axe bewegliche Platte mit Löchern von verschiedener Grösse hat, um je nach der Art des untersuchten Objectes mehr oder weniger Licht eintreten zu lassen. Solche bewegliche Platten hat man jetzt dem Mikroskope wieder beigefügt und als eine Erfindung von Lebaillif aufgenommen. Ein Mikroskop von Musschenbroek, welches der vorangehenden Beschreibung entspricht, befindet sich noch im physikalischen Cabinette zu Leyden.

Fig. 10.



Anderes einfaches Mikroskop von J. Musschenbroek.

Teuber's Mikroskop, welches auch für die Benutzung kleiner Glaskügelchen bestimmt war, stimmt in vieler Hinsicht mit dem Musschenbroek'schen überein. (Kaschuben, *Cursus mathemath.* Jen. 1707, p. 379.)

Zu den in der ersten Zeit gebräuchlichen Mikroskopen rechne ich auch die sogenannten Cirkelmikroskope (Fig. 11 a. f. S.), deren Name sich darauf bezieht, dass sie die Gestalt eines Cirkels hatten, dessen einer Schenkel die Linse, der andere aber das Object trug. (*S. Vollst. Lehrgeb. der Opt.* Taf. 47, Fig. 1, und Ledermüller a. a. O. Taf. 70.) Nach Ledermüller hat Mayer in Dresden dieselben zuerst verfertigt.

In der Kunst des Linsenschleifens für Mikroskope scheint bis dahin keiner den Leeuwenhoek übertroffen zu haben. Das Mühsame des Linsenschleifens war Ursache, dass man auf andere Mittel bedacht war, und statt der Linsen geschmolzene Glaskügelchen zu benutzen anfing. 21

Der erste, der diese versuchte, war Hooke. In der Vorrede zu seiner im Jahre 1665 herausgekommenen *Micrographia* beschreibt er sein Verfahren. Ein Glasstreifen wird in der Löthrohrflamme zu einem feinen Faden ausgezogen, und das abgebrochene Ende dieses Fadens kommt hierauf in die Flamme, bis sich ein Kügelchen gebildet hat, welches dann abgebrochen und auf einem mit einem Loche versehenen Messingtäfelchen so hefestigt wird, dass der rückständige Theil des Glasfadens an die Seite des Loches zu liegen kommt. Hooke scheint indessen mit seinen Glaskügelchen nicht recht zufrieden gewesen zu sein, da er seine meisten Beobachtungen mit einem zusammengesetzten Mikroskope ausgeführt hat.

Fig. 11.



Cirkelmikroskop.

Bald nachher (1668) verfertigte Hartsoeker (*Essay de Dioptrique*) Glaskügelchen auf eine ähnliche Weise. Da er mittelst derselben die schon früher von Ham entdeckten Samenthierchen wahrnehmen konnte, so müssen seine Glaskügelchen sehr gut gewesen sein, und sicherlich müssen sie sehr bedeutend vergrössert haben.

Einige Jahre später (1677) machte Butterfield (*Philos. Transact.* 1677. p. 226) sein Verfahren bekannt, welches darin bestand, dass er fein pulverisirtes Glas an der Spitze einer Nadel in die Weingeistflamme hielt, his es zu einem Kügelchen zusammengeschmolzen war *).

Zahn beschreibt auch die Methode, wie Friedrich Schrader (*De microscopiorum usu.* Gotting. 1681) die Glaskügelchen herstellte. Sie unterscheidet sich nur darin von der vorhergehenden, dass Schrader kein Glaspulver nahm, sondern ein Stückchen Glas, das er mittelst einer Flüssigkeit an die Spitze einer Nadel brachte und in dio Löthrohrflamme hielt.

Philippus Bonannus (*Micrographia curiosa* p. 18) theilt eine Geschichte von de Monconny (*Journ. des Voyages* II, p. 161) mit. Dieser erzählt nämlich, in Amsterdam habe er bei de Hudd (wahrscheinlich kein Anderer, als der Amsterdamer Bürgermeister Hudde) ein Mikroskop gesehen; dasselbe hahe aus einer einzelnen vergrössernden Linse bestanden, aber eine zweite grössere Linse sei noch zur stärkeren Beleuch-

*) Nach Philippus Bonannus hat Butterfield auch noch ein besonderes Schriftchen darüber französisch herausgegeben. Aus dem Briefe an die *Royal Society* ersieht man, dass Butterfield dadurch auf seine Methode gekommen war, weil er ein mit einem Glaskügelchen versehenes Mikroskop sah, welches Huygens aus Holland mitgebracht hatte. Huygens giebt das Nämliche in einem Briefe an die Pariser Akademie an (*Mém. de l'Acad.* XI, p. 608); der Name des Verfertigers wird hier aber nicht genannt. In Huygens' *Dioptrik* (*Opera reliqua* II, p. 173) wird zur Anfertigung eine Methode empfohlen, die ganz mit jener von Hudde übereinstimmt. Somit erscheint es wahrscheinlich, dass jenes Mikroskop, welches Huygens mit nach Paris brachte, von Hudde stammte.

tung hinter dem Objecte angebracht gewesen. Er erzählt dann weiter, dass ihm de Hudd die Methode gezeigt habe, wodurch man stark vergrössernde Glaskügelchen gewinnt. Nach der Beschreibung war dies aber keine andere als die Schrader'sche*).

Johannes Musschenbroek, von dessen Mikroskopen schon die Rede war, verfertigte ebenfalls solche Glaskügelchen ganz nach der Methode von Hooke; nach dem Zeugnisse von Zeitgenossen (Hertel's *Anweisung zum Glasschleifen.* Halle 1716. S. 71) scheint er es darin sehr weit gebracht zu haben.

Archibald Adams (*Philos. Transact.* 1710. p. 24) beschrieb 1710 seine Methode, die aber keine andere ist, als die von Hooke.

Hertel (*Anweisung zum Glasschleifen.* S. 72) benutzte einen Brennspiegel, um das auf ein Stück Holzkohle gelegte Glasstückchen in Fluss zu bringen.

Stephen Grey (*Philos. Transact.* Nr. 221. *Smith*, *Opticks* II. p. 394) brachte die Glasstückchen ebenfalls auf eine Holzkohle; er versetzte sie aber durch die Löthrohrflamme in Fluss, und schliff dann die Kügelchen auf der einen Seite gerade.

Benjamin Martin (*System of Opticks.* 1740. p. 180) giebt zwei Methoden an, die aber nicht wesentlich abweichen von Hooke's und von Schrader's Verfahren.

In der Kunst, stark vergrössernde Glaskügelchen herzustellen, hat es aber Niemand so weit gebracht, als Pater Giovanni Maria della Torre in Neapel (S. *Nuove osservazioni microscopiche.* Con. 14 Tav. in 4. Napoli 1776. *Antonio Barba*, *Osservazioni microscopiche sul cervello.* Napoli 1819. Deutsch von Schönberg. Würzb. 1829. Barba gebrauchte bei seinen Untersuchungen nur Glaskügelchen, die er nach der Methode seines Lehrers della Torre anfertigte). Er schmolz ein Glaskügelchen in ähnlicher Weise, wie Hooke, aus einem Glasfaden und brachte es in eine muldenförmige Höhle in einem Stückchen Tripel, worin das Kügelchen noch einmal durch die Löthrohrflamme geschmolzen wurde. Seine Glaskügelchen vergrösserten ungemein stark. Im Jahre 1765 erhielt die *Royal Society* in London mehrere: das grösste hatte $^1/_{36}$ Zoll Durchmesser und gab eine 640fache Vergrösserung; das kleinste hatte nur $^1/_{144}$ Zoll Durchmesser und gab eine 2560fache Vergrösserung. Baker untersuchte diese Kügelchen und erklärte, er könne nichts dadurch sehen. Manche Beobachtungen della Torre's beweisen aber, dass diese Kügelchen durchaus nicht so unbrauchbar gewesen sein können, als Baker angiebt. Auch rühmt Lalande die della Torre'schen Mikroskope, die er

---

*) C. Beudeker (*Aanteekeningen op de Lustplaats Soelen* p. 39) nennt Johannes Hudde den Erfinder der kleinen Vergrösserungsgläser. Aus dem Mitgetheilten erhellt, in welchem Sinne diese Angabe zu verstehen ist.


Digitized by Google

auf seiner italienischen Reise sah, gar sehr. (S. *Montucla*, *Hist. des Mathématiques*. III, p. 511.)

Später hat Sivright (*Edinb. philos. Journ.* 1829. I, p. 81) ihre Herstellung wesentlich dadurch verbessert, dass er in ein Stückchen Platinblech ein kleines Loch macht, ein kleines Stückchen Glas darauf legt und in die Löthrohrflamme hält, wo es eine runde Form bekommt.

Einige Jahre später empfahl Crooke wieder eine neue Methode: Glasstückchen werden nämlich auf einer vorher mit Kreide bestrichenen Eisenplatte über Kohlen geschmolzen.

Chevalier (*Die Mikroskope* u. s. w. S. 30) theilt auch das Verfahren von Laligant mit, welches ganz mit dem von Hooke übereinstimmt. Dasselbe ist der Fall mit der früher von Nicholson (Gilbert's *Annalen* 1800. IV, S. 252) empfohlenen Methode.

Nach einer Mittheilung Gaudin's im Jahre 1850 (*Comptes rendus*. XXX, p. 141) hat derselbe schon zehn Jahre früher der französischen Akademie geschmolzene Linsen angeboten, die 50 bis 400 Mal vergrösserten, und aus Kronglas und Bergkrystall bestehen sollten. Er erwähnt aber nichts darüber, wie er den Bergkrystall zum Flusse bringt.

Endlich habe ich selbst viele Jahre hindurch ein Mikroskop benutzt, dessen stärkere Vergrösserungsgläser aus solchen Kügelchen bestanden; diese wurden auf eine Weise hergestellt, die als eine Vereinigung der Methoden von Hooke und von Sivright zu betrachten ist (*Bulletin des Sc. phys. et nat. en Neerlande* 1839. p. 370).

Bei der grossen Vervollkommnung des zusammengesetzten Mikroskopes in den letzten Jahren, und da gegenwärtig ganz brauchbare Mikroskope um einen verhältnissmässig geringen Preis zu haben sind, werden solche kleine Glaskügelchen statt Linsen wohl nur noch selten beim einfachen Mikroskope gebraucht werden. Indessen kommen doch noch Fälle vor, wo man sie mit Vortheil verwendet, z. B. zur Erzeugung sehr kleiner dioptrischer Bildchen. Ich glaube daher nichts Ueberflüssiges zu thun, wenn ich hier angebe, wie sie nach meiner Erfahrung am besten hergestellt werden.

Dazu sind folgende Dinge erforderlich: 1) zwei oder drei Millimeter breite Streifen von gewöhnlichem Fensterglas oder auch von dünnem Spiegelglas; 2) Platinblech von der Dicke, wie es zu chemischen Untersuchungen benutzt zu werden pflegt; 3) eine gewöhnliche Spirituslampe; 4) zwei Pincetten, eine kleinere und feinere, um die Glaskügelchen damit zu fassen, eine gröbere, um die Stückchen Platinblech damit zu halten; 5) ein kleiner flacher Hammer; 6) einige gewöhnliche Nähnadeln von verschiedener Feinheit; 7) eine Platte aus Kork oder weichem Holz; 8) eine ebene Bleiplatte; 9) ein kleines Pappschächtelchen, aus dessen Deckel der Boden entfernt und durch einen andern aus dünnem Papier ersetzt wurde; 10) eine Scheere.

Das Erste ist, dass man aus Platinblech ein Paar runde oder viereckige Stückchen ausschneidet, etwa von drei bis vier Millimeter Durchmesser. Man legt dieselben auf die Kork- oder Holzplatte, und mit einer Nadel bohrt man in die Mitte eines jeden ein kleines Loch. Die Grösse dieser Oeffnung muss sich natürlich nach der Grösse des Kügelchens richten, welches hineingeschmolzen werden soll; man rechnet auf die Oeffnung etwa $^3/_4$ der Grösse des Kügelchens. Beim Bohren wird das kleine Platinblech etwas gewölbt und es bekommt einen Rand; deshalb legt man es nach dem Durchbohren auf die Bleiplatte, und verschafft ihm durch ein Paar Schläge mit dem kleinen Hammer wiederum das geradflächige Aussehen.

Jetzt werden die Glasstreifen zu Fäden ausgezogen. Nimmt man so dünne Streifen, als empfohlen worden ist, so ist die Flamme einer gewöhnlichen Spirituslampe dazu ganz ausreichend; ja diese verdient vor der Löthrohrflamme noch den Vorzug, weil sie keinen Russ giebt. Die Dicke der Fäden ist wieder vom Durchmesser der Kügelchen abhängig, die man anfertigen will.

Hält man das eine Ende eines solchen Glasfadens in die Flamme, so bildet sich bald ein Kügelchen daran. Damit man nicht genöthigt ist, dasselbe mit den Fingern zu fassen, was man, um die Glasoberfläche rein zu behalten, möglichst zu vermeiden sucht, so sticht man in den Papierboden des Deckels des Pappschächtelchens ein kleines Loch, steckt das freie Ende des Glasfadens hinein und zieht denselben heraus, bis das Kügelchen von unten an das Papier anstösst. Jetzt kneipt man auf der andern Seite des Deckels den Glasfaden durch, und das Glaskügelchen, mit einem kleinen Anhange versehen, fällt in das Pappschächtelchen.

Hierauf wird das durchbohrte Platinblech mit der grösseren Pincette gefasst, und mit der feinen Pincette, oder bei den allerkleinsten mit der angefeuchteten Spitze einer Nadel bringt man das Kügelchen in die Oeffnung, so dass der noch daran sitzende kleine Anhang schief zur Seite dieser Oeffnung kommt. Auf die Oberfläche des Bleches darf der kleine Anhang nicht kommen, weil in solchem Falle das Kügelchen selten die gehörige Form annimmt. Hat man es mit sehr kleinen Kügelchen zu thun, so muss dieser Theil der Arbeit unter der Lupe ausgeführt werden.

Zuletzt wird das Platinblättchen mit dem in der Oeffnung liegenden Glaskügelchen in die Spiritusflamme gehalten, und zwar dahin, wo diese die grösste Hitze entwickelt, nämlich über die Spitze des inneren Kegels. Hier verschwindet der noch vorhandene Anhang des Kügelchens alsbald, indem er mit der übrigen Masse zusammenschmilzt, und dabei legt sich das Glaskügelchen an die stets vorhandenen Unebenheiten der Ränder der Oeffnung, so dass das Kügelchen gehörig befestigt wird. Nur die grösseren Glaskügelchen, die etwa über ein Millimeter Durchmesser ha-

Digitized by Google

ben, fallen nach der Abkühlung, weil sich das Glas zusammenzieht, meistens aus dem Platinbleche; diese müssen daher ganz frei, d. h. in der Weise gewöhnlicher Linsen, in den zu ihrer Aufnahme dienenden Messingröhrchen befestigt werden. Die passendste Form für diese Röhrchen ist die, welche Fig. 12 im Durchschnitte dargestellt ist. Hier ist *c* ein durchbohrter kleiner Messingcylinder, etwa 3 Millimeter lang, und oben mit einer etwas ausgehöhlten Scheibe *ab* von 20 Millim. Durchmesser versehen. Um den kleinen Cylinder wird eine Hülse *d* geschraubt, die bei *e* eine Oeffnung für das Glaskügelchen hat.

Fig. 12.



Röhrchen für Glaskügelchen.

Natürlich kommen unter den zubereiteten Glaskügelchen immer solche vor, die sich bei der Untersuchung als unbrauchbar erweisen. Es ist deshalb räthlich, mehrere von ziemlich gleicher Grösse anzufertigen und die besten davon auszuwählen, was auch nicht viel Zeit kostet. Bei einiger Uebung kann man ein Dutzend solcher Glaskügelchen in einer Stunde anfertigen und es reichen also ein Paar Stunden hin, um einen ganzen Satz von Vergrösserungen von 80 bis zu 2000 Mal zu bekommen. Das stärkste Kügelchen, das ich angefertigt habe, vergrössert 2200 Mal im Durchmesser. Dergleichen sind aber wegen des sehr kurzen Focus als Mikroskop kaum brauchbar; man reicht vollkommen mit jenen aus, die höchstens 800 bis 900 Mal vergrössern. Auch ist zu erwähnen, dass gerade die Kügelchen, welche 300 bis 900 Mal vergrössern, das netteste Bild geben und in dieser Beziehung manchmal selbst gewöhnliche geschliffene Linsen von gleicher Vergrösserung auffallend übertreffen, was sich wohl nur so erklären lässt, dass die Kügelchen während der Schmelzung ellipsoidische oder hyperbolische Flächen bekommen, wodurch ihre sphärische Aberration abnimmt.

Versuche, die ich im Jahre 1849 mit mehreren dieser Kügelchen an Nobert'schen*) Probetäfelchen anstellte, ergaben folgende Resultate:

178malige Vergrösserung; die 4. Gruppe sehr deutlich hervortretend, in der 5. die meisten Striche erkennbar.

*) Diese Versuche und die weiterhin vorkommenden, falls nicht das Gegentheil ausdrücklich angegeben ist, wurden seiner Zeit mit einem der ersten Probetäfelchen Nobert's mit zehn Gruppen von Linien angestellt; dasselbe ist von dessen späteren Täfelchen mit ebenfalls zehn Gruppen verschieden. Da es für den hier vorliegenden Zweck durchaus nicht nöthig war, diese Beobachtungen aus dem Jahre 1849 mit späteren Probetäfelchen zu wiederholen, so soll hier nur ein für alle Mal diese Bemerkung stehen, damit nicht der Leser die Nummern der sich darstellenden Gruppen auf die späteren Nobert'schen Täfelchen beziehe, wo die Linien der höheren Gruppen weiter von einander abstehen und deshalb auch leichter von einander zu unterscheiden sind.

453malige Vergrösserung; die 6. Gruppe deutlich hervortretend, die 7. gestreift;
712 „ „ „ 7. „ eben hervortretend;
920 „ „ „ 7. „ deutlich hervortretend.

Vergleicht man diese Resultate mit jenen, welche man bei der Prüfung der besten neueren aplanatischen Mikroskope erhält, so ergiebt sich, dass diese Glaskügelchen ihnen im Unterscheidungsvermögen schon sehr nahe kommen, und dass sie wenigstens die früheren zusammengesetzten Mikroskope in dieser Hinsicht bei weitem übertreffen.

Kehren wir nun zur Geschichte des einfachen Mikroskopes zurück, 22
so haben wir gesehen, dass während der letzten Hälfte des 17. Jahrhunderts allmälig einige Verbesserungen an demselben ausgeführt wurden, die namentlich dahin zielten, den Abstand zwischen Linse und Object veränderlich zu machen, und dass man auch bereits eine zweite Linse zur Verstärkung des Lichtes zu benutzen anfing. Meistens jedoch wurden die einfachen Mikroskope noch mit der Hand gefasst und gegen das Tages- oder Kerzenlicht gehalten, und diese Einrichtung erhielt sich auch vielfältig noch in den ersten Jahren des 18. Jahrhunderts.

Man begann aber allerdings auch schon jetzt, manche einfache Mikroskope zu bestimmten Zwecken mit einem Fusse zu versehen. Solche Einrichtung hatte das bereits erwähnte Mikroskop, dessen sich Swammerdam bei der Insectenzergliederung bediente, und das von Samuel Musschenbroek verfertigt worden war.

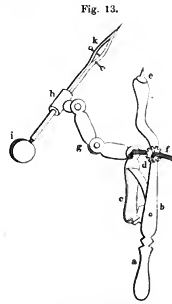
Ebenso beschrieb 1702 der Engländer Wilson (*Philos. Transact.* 1702, p. 1241) zwei Arten einfacher Mikroskope, von denen er angiebt, dass sie auch mit einem Fusse versehen werden könnten, falls man die damit betrachteten Objecte zu zeichnen wünsche. Eine nähere Beschreibung oder Abbildung gab er aber nicht; er bemerkte bloss, die Einrichtung sei der Art, dass das Mikroskop bequem nach dem Lichte gewendet werden könnte. Zu beiden Mikroskopen gehörte das nämliche System von Linsen, acht an der Zahl.

Das eine Mikroskop von Wilson (Fig. 13 a. f. S.) besteht aus zwei länglichen Messingplatten *b* und *c*, die durch ein Charnier vereinigt sind und eine Feder *d* zwischen sich haben. Mittelst der gebogenen Schraube *f* können die beiden Platten einander genähert werden. Auf das zugespitzte Ende *e* der einen Platte kommt das die Linse enthaltende Röhrchen. Mit der andern Platte steht ein aus mehreren Gliedern bestehender Querarm *g* in Verbindung, mit einer Hülse *h* am Ende, worin sich ein Draht auf- und niederschiebt, der auf der einen Seite in eine Kneipzange *k* ausgeht, auf der andern Seite dagegen eine kleine elfenbeinerne Scheibe mit einer schwarzen und einer weissen Fläche hat.

Digitized by Google

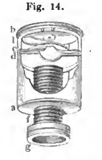
Ein zweites Mikroskop von Wilson (Fig. 14) ist dasjenige, welches er zuerst 1702 beschrieb. Der Körper *ab* ist aus Elfenbein, aus Messing oder aus Silber, cylinderförmig, etwa zwei Zoll lang und einen Zoll breit. Oben bei *b* werden die Röhrchen mit den Linsen aufgeschraubt, unten aber der hohle Cylinder *f* mit der Beleuchtungslinie *g*, der sich durch Schrauben höher und niedriger stellen lässt. In dem Rohre befinden sich lose drei in der Mitte durchbrochene Platten, von denen die Platte *d* halbkreisförmig ausgebogen ist, um mit Flüssigkeit gefüllte Röhrchen aufzunehmen; die beiden anderen aber sind platt, um Glastäfelchen und Schieber dazwischen zu befestigen. Diese ringförmigen Platten stossen auf der einen Seite an die Feder *l*, auf der andern an die Schraube *f*, welche dazu bestimmt ist, das Object der Linse zu nähern. — Man sieht, dass dieses Mikroskop fast ganz mit demjenigen übereinstimmt, welches etwa 20 Jahre früher von Hartsoeker beschrieben worden war.

Fig. 13.



Wilson's Mikroskop.

Fig. 14.

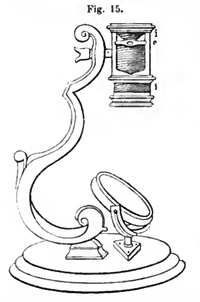


Wilson's zweites Mikroskop.

Die spätere Form, welche Wilson dem Instrumente gab, und in der es unter dem Namen Wilson's Taschenmikroskop länger als ein halbes Jahrhundert sehr allgemein in Gebrauch kam, stimmt noch mehr mit dem Instrumente von Hartsoeker, da er es auch noch mit einer mehrfach gewundenen Spiralfeder *i* (Fig. 15) versah. Um es bequemer halten zu können, wurde noch ein besonderer Handgriff hinzugefügt. Erst um 1740 oder etwas später versah Wilson sein Mikroskop mit einem beweglichen Spiegel, wie es in Fig. 15 dargestellt ist: wenigstens wird in Baker's *Microscope made easy*, welches 1744 herauskam, der hinzugekommene Spiegel als eine ganz neue Erfindung bezeichnet. Wir werden aber später sehen, dass derselbe schon beim zusam-

mengesetzten Mikroskope von Hertel angebracht worden war. Etwa um die nämliche Zeit kam Wilson's Mikroskop auch auf einen bleibenden Fuss, den man dann allgemein bei anderen einfachen Mikroskopen zu benutzen anfing. Dahin gehört z. B. das Mikroskop von Milchmeyer (Ledermüller's *Augenergötzungen* IV, S. 46, Tafel I), welches übrigens von einem der Mikroskope des Joh. Musschenbroek sich nur wenig unterscheidet, und ebenso das Mikroskop von Gleichen's (Ledermüller's *Augenergötzungen* III, Tafel XII), welches nichts anderes ist als ein verbessertes Cirkelmikroskop mit einem darunter angebrachten Spiegel.

Fig. 15.



Wilson's drittes Mikroskop mit dem Spiegel.

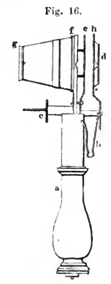
Später wurde Wilson's Mikroskop von Steiner (*Abhandlung von den Vergrösserungsgläsern* S. 13, im Anhang zur Uebersetzung von Baker's *Microscope made easy*) in der Art abgeändert, dass drei Röhrchen, welche die Linsen enthalten, zusammen auf einer Platte befestigt waren, und sich um eine ausserhalb des Mikroskopes befindliche Achse drehen liessen, so dass nach Willkür eine der Linsen über das Object gebracht werden konnte.

In Frankreich hatte in den ersten Jahren des 18. Jahrhunderts L. 23
Joblot, Professor an der *Académie royale de Peinture et Sculpture*, einen grossen Namen als Verfertiger von mancherlei Mikroskopen. Ausführliche Beschreibungen mit vielen Abbildungen finden sich in seiner Schrift: *Descriptions et Usages de plusieurs nouveaux Microscopes* etc. Paris 1718. Alle seine Mikroskope zeichneten sich durch zierliche, nette Form aus; irgend erhebliche Verbesserungen kamen aber daran nicht vor. Ein einfaches Mikroskop von Joblot ist in Fig. 16 (a. f. S.) abgebildet. Mit dem Handgriffe *a* ist zunächst die Messingplatte *h* verbunden, die eine Oeffnung hat, um das die Linse umfassende Röhrchen *d* hineinzuschrauben; sodann steht auch noch eine zweite Messingplatte *f* mit dem Handgriffe in Verbindung, die als Objecttisch dient und deshalb in der Mitte durchbohrt ist. Das Glastäfelchen oder der Schieber mit den Objecten wird durch die dünnere Platte *e*, welche als Feder wirkt, auf der Platte *f* be-

Digitized by Google

festigt. Die nach vorn offene Kapsel *fg* aus Ebenholz hat den Zweck, das überflüssige Licht abzuhalten. Die Annäherung des Objectes und der Linse wird durch den geränderten Kopf *c* bewirkt; derselbe setzt eine Schraube in Bewegung, welche mit der Platte *h* verbunden ist, und die Bewegung wird durch eine Stahlfeder *b* geregelt.

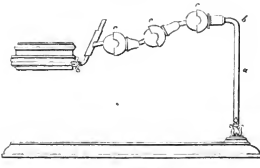
Fig. 16.



Mikroskop von Joblot.

An keinem seiner eigentlichen einfachen Mikroskope hatte **Joblot** einen Fuss; er giebt aber die Beschreibung und Abbildung eines Lupenträgers, der zu Zergliederungen bei schwacher Vergrösserung bestimmt war. Mit Weglassung des untern Theils des Fusses, wo sich eine Ueberladung mit künstlichem Schnitzwerk findet, ist dieser Lupenträger in Fig. 17 abgebildet. Der senkrechte Theil *a* ist bei *b* rechtwinkelig umgebogen, und daran reiht sich ein aus drei Kugelgelenken *ccc* bestehender Arm, der am Ende einen zur Aufnahme der Lupe bestimmten Ring hat. Solche Lupenträger sind noch viele Jahre hindurch allgemein in Gebrauch gewesen, namentlich nachdem **Trembley** (*Hist. des Polypes d'eau douce.* 1744) einen ziemlich ähnlichen zur Beobachtung der in einem Glase mit Wasser befindlichen Polypen empfohlen hatte, und nachdem **Lyonet** (*Traité anatomique de la chenille, qui ronge le bois de saule.* A la Haye 1762) einen solchen zu seiner ausgezeichneten Zergliederung der Weidenraupe benutzt hatte.


Fig. 17.



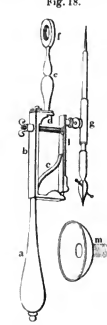
Joblot's Lupenträger.

24 Allmälig hatte man es auch weit in der Kunst gebracht, kleine Glaslinsen zu schleifen. Die Linsen von **Wilson's** Taschenmikroskop vergrössern bis zu 400 Mal.

Digitized by Google

Damals machte sich auch Lieberkühn berühmt durch seine stark vergrössernden Linsen. In seiner Biographie (*Mémoires de l'Académie royale de Berlin.* 1756, p. 519) liest man, er habe Gläser von so ausserordentlicher Kleinheit geschliffen, dass man zum Vergrösserungsglase greifen musste, um sie zu sehen. Die Benutzung concaver reflectirender Metallspiegelchen zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte, die schon früher von Leeuwenhoek erfunden worden waren (S. 38), wurde seit 1738 durch Lieberkühn allgemein verbreitet. Das Gestelle des Mikroskopes, woran er diese Hohlspiegelchen anbrachte, ist übrigens sehr einfach, wie aus Fig. 18 zu ersehen ist. Der Handgriff *a* trägt ein ebenes messingenes Stück *b*, auf dem sich eine besondere Columella *e* mit dem Ringe *f* erhebt, bestimmt zur Aufnahme der Linse *m*, mit der ein Hohlspiegel verbunden ist. Das Stück *b* wird von der Schraube *d* durchbohrt, um auf das Stück *l* zu wirken, dessen Bewegung durch die Feder *c* geregelt wird. Bei *g* befindet sich eine Hülse mit einem darin gehenden Stifte, der an einem Ende in eine Spitze, an dem andern Ende in eine kleine Kneipzange ausläuft, beide zum Festhalten der Objecte bestimmt.


Fig. 18.



Lieberkühn's einfaches Mikroskop.

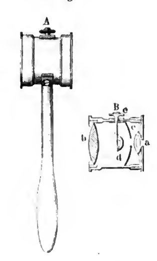
Im Museum des *Royal College of Surgeons of England* befindet sich eine kleine Sammlung von 12 Lieberkühn'schen Mikroskopen, deren jedes ein Injectionspräparat zeigt (*Quekett, Practical treatise on the use of the microscope.* London 1848, p. 16). Die Zusammensetzung dieser Mikroskope (Fig. 19 a. f. S.) ist etwas anders. *A* ist ein messingenes Röhrchen, das etwa einen engl. Zoll Länge und Breite hat; an dem einen Ende befindet sich eine kleine biconvexe Linse von $^1/_2$ Zoll Brennweite, und am andern Ende ist eine grössere Linse zur Lichtverstärkung angebracht. Bei *B* wird das Röhrchen im Durchschnitte dargestellt: *a* ist die vergrössernde Linse, theilweise in einer Aushöhlung des silbernen Hohlspiegels *c* liegend; bei *d* befindet sich das Object, welches durch die Schraube *e* auf und nieder bewegt werden kann; *b* endlich ist die Beleuchtungslinse.

Lieberkühn hat auch ein anatomisches Mikroskop, das er verfertigt hatte, beschrieben und abgebildet (*Mém. de l'Acad. de Berlin.* 1734, p. 21). Es hatte eine ziemlich grosse, senkrecht auf einem Fusse stehende Messingplatte, woran sich mehrere bewegliche Haken befanden, um das Object damit auszuspannen. Vor einer Oeffnung in der Platte befand

Digitized by Google

sich die Linse, die sich durch eine Schraube auf- und abbewegen liess. Ein Beleuchtungsspiegel fehlte diesem Mikroskope ebenso, wie den beiden vorigen.

Fig. 19.



Lieberkühn'sches Mikroskop; halbe Grösse.

Fig. 20.

Lyonet's einfaches Mikroskop.

Kurz nach Lieberkühn versah auch Leutmann (*Anmerkungen vom Glasschleifen.* Halle 1738. *Vollst. Lehrgeb. d. Optik*, S. 187, Taf. 46. Fig. 1) die Linsen des einfachen Mikroskopes mit reflectirenden hohlen Spiegelchen. Sein Mikroskop ist im Ganzen zweckmässiger eingerichtet als das Lieberkühn'sche; es fehlt ihm aber ebenfalls der Spiegel.

Noch ein Mikroskop für undurchsichtige Objecte wurde von Meyen (*Kurze Uebersicht von der Beschaffenheit und dem Gebrauche der Vergrösserungsgläser und Teleskopien.* 1747) beschrieben. Dasselbe ähnelte sehr dem Lieberkühn'schen.

Später wurden auch an den sehr gebräuchlichen Wilson'schen Mikroskopen reflectirende Spiegelchen angebracht.

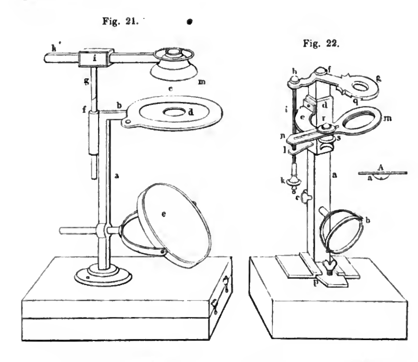
25 Die bisher angefertigten und im Vorhergehenden beschriebenen einfachen Mikroskope waren nur darauf eingerichtet, ein schon vorher zubereitetes Object vor oder unter der Linse zur Wahrnehmung zu bringen. Ausgenommen das Mikroskop, welches S. Musschenbroek für Swammerdam anfertigte und dessen Zusammensetzung uns nicht ganz klar ist, das aber doch wahrscheinlich mehr eine Art Lupenträger gleich dem

Joblot'schen war, kannte man bis dahin keines, womit man bei etwas bedeutender Vergrösserung Zergliederungen hätte vornehmen können. Den Joblot'schen Apparat verbesserte Lyonet (Fig. 20) dadurch, dass er den gegliederten Arm *d* auf eine eirunde hölzerne Platte *ab* (8 Zoll lang und 5 Zoll breit) brachte, die auf der kleinen Säule *f* ruht, die man selbst wieder auf einem als Fuss dienenden Kästchen, worin die Linsen nnd andere Dinge aufbewahrt werden, aufschraubt. Der grosse Objecttisch hat eine runde Oeffnung *c*, $1^5/_8$ Zoll gross, für Glasplatten und Kästchen, worauf oder worin sich die zur Zergliederung bestimmten Objecte befinden, und ein unter dieser Oeffnung befindlicher Hohlspiegel *g* dient zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes. Mittelst der gelenkartigen Gliederungen bringt man dann die Linse *e* in die gehörige Entfernung vom Objecte. Werden aber recht stark vergrössernde Linsen gebraucht, dann ist diese Bewegung nicht genau genug, und für solche Fälle griff Lyonet zu einem recht guten Hülfsmittel, welches, wie wir weiterhin sehen werden, auch noch später, aber auf eine verbesserte Weise, in Anwendung gekommen ist. Die mittelsten Glieder des Armes brachte er nämlich bis zur Oberfläche des Objecttisches herab, und die Linse stellte er so, dass sie dem Objecte etwas zu sehr genähert war. Hierauf schob er ein ganz schief keilförmig zugeschnittenes Holzstückchen zwischen den gegliederten Arm und die Platte und hob dadurch den erstern etwas auf, bis das Object sich ganz scharf darstellte. (*Lettre à Ms. Lecat*, in seiner Abhandlung p. 4). Später hat Adams dieses Hülfsmittel dadurch entbehrlich gemacht, dass er die Schraube *h* anbrachte, wodurch der gegliederte Arm etwas gehoben werden kann.

Schon vor Lyonet hatte Cuff ein Mikroskop angefertigt (Fig. 21 a. f. S.), welches unter dem Namen des Wassermikroskopes von Ellis bekannt geworden ist, weil Ellis (*Essay towards a natural History of Corallines*. Lond. 1755) dasselbe zuerst beschrieb und zur Beobachtung mancher im Wasser lebender Thiere benutzte. Das Gestell dieses Mikroskopes ist offenbar jenem der zusammengesetzten Mikroskope desselben Optikers entnommen nnd verdient deshalb besondere Beachtung, weil es zu allen ferneren Verbesserungen in der mechanischen Einrichtung des einfachen Mikroskopes den Grund gelegt hat. Daher es denn auch nicht schwer fällt, in diesem vor mehr als 100 Jahren verfertigten Instrumente das Modell zu erkennen, nach welchem die meisten späteren gearbeitet worden sind. Die Stange *a* trägt den ringförmigen Objecttisch *c*, in welchen eine geradflächige Glastafel *d* oder ein ausgehöhltes Glas eingesetzt werden kann. Der Linsenarm *k* lässt sich in dem hohlen vierseitigen Stücke *i* hin- und herschieben; dieses ruht aber auf dem Stabe *g*, der in einer an der Stange befestigten Hülse *f* auf und niedergleiten und sich herumdrehen kann. Jede Linse ist in ein Röhrchen gefasst, welches unten mit

einem reflectirenden Spiegel *m* versehen ist; *e* aber ist der Beleuchtungsspiegel.

Fig. 21. Fig. 22.



Cuff's einfaches Mikroskop. Mazzola's einfaches Mikroskop.

Es braucht wohl kaum darauf hingewiesen zu werden, dass dieses Mikroskop, namentlich durch den ganz freien Objecttisch, zu vielerlei Untersuchnngen sich weit mehr eignet, als das bis dahin allgemein in Gebrauch stehende Wilson'sche Mikroskop. Nur konnte es in dieser Form schwerlich bei sehr stark vergrössernden Linsen benutzt werden, weil das Auf- und Niederschieben des Stabes *g* in der Hülse *f* keine ganz genaue Einstellung erlaubt. Dieser Unvollkommenheit wurde übrigens später von Cuff selbst abgeholfen, wie ich an einem Mikroskope des Herrn R. T. Maitland zu sehen Gelegenheit gehabt habe. Dieses einfache Mikroskop hat eine elliptische messingene Platte als Fuss, und ausser der gröberen Bewegung durch Auf- und Niederschieben ist auch noch für die feine Einstellnng gesorgt durch eine auf der hinteren Seite angebrachte Feder, ganz so wie an Cuff's zusammengesetztem Mikroskope, von dem später die Rede sein wird.

In dieser Art, mit nur wenigen in der Regel nicht nennenswerthen Modificationen, sind die meisten einfachen Mikroskope in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts verfertigt worden, von den beiden Adams, von Martin, von Jones, von Mazzola und Anderen. Es wird deshalb genügen, wenn ich hier nur noch das Instrument des Letzteren, des in Wien lebenden Italieners Vincenz Mazzola, beschreibe, wie er es für stark vergrössernde Glaskügelchen eingerichtet hatte, deren sich Antonio Barba, ein Schüler des della Torre, bediente (Fig. 22). Die vierseitige Stange wird mittelst eines Schwalbenschwanzes *p* und einer Klemmschraube auf dem Kästchen befestigt. An der Stange bewegt sich die vierseitige Hülse *d* auf und ab, mit welcher ein bogenförmiger Arm *e* verbunden ist, und auf diesem befindet sich der Objecttisch *m*, der vermöge des Ausschnitts *n* darauf hin- nnd hergeschoben und auch herumgedreht werden kann. Unten ist an die bewegliche vierseitige Hülse *d* eine kleine Platte *l* befestigt; durch diese geht eine Schraube *ik*, die sich oben an dem feststehenden kleinen Arme *h* herumdreht, an der Spitze der Stange. Dort befindet sich auch der Linsenarm *f*, mit einem Ringe *g* am Ende, der etwas ausgehöhlt ist. Die Glaskügelchen, in schalenförmige Röhrchen eingeschlossen, sind an eine länglich-viereckige Platte befestigt, welche in die Schwalbenschwanzrinne *q* des Armes *g* eingeschoben wird. *A* ist die seitliche Ansicht der Linsenplatte. Die Beleuchtung wird durch den Hohlspiegel *b* bewirkt.

Während so die mechanische Einrichtung des einfachen Mikroskopes 26
während des 18. Jahrhunderts allmälig einen hohen Grad von Vervollkommnung erfuhr, wurde der optische Theil während dieser Zeit wenig oder gar nicht verbessert; erst mit dem Anfange unseres gegenwärtigen Jahrhunderts machte man aufs Neue Versuche, das einfache Mikroskop auch nach dieser Seite hin zu vervollkommnen.

Fig. 23.

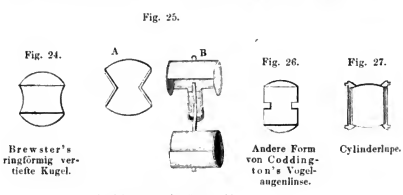
Wollaston's periskopische Linse.

Unter denen, die dies versuchten, ist zuerst Wollaston (*Phil. Transact.* 1812, p. 375) zu nennen. Er vereinigte zwei planconvexe Linsen (Fig. 23) dergestalt mit einander, dass sie einander die ebenen Flächen zukehrten, aber einen Raum zwischen sich übrig liessen, worin sich eine mit einer Oeffnung versehene metallene Scheibe oder ein Ring befand. Er wollte dadurch die Randstrahlen abschneiden und die sphärische Aberration mindern, zugleich aber auch ein grösseres Gesichtsfeld zu Stande bringen. Deshalb bezeichnete er eine solche Vereinigung als periskopische Linse.

Brewster bemerkte mit Recht, dass, wenn eine solche periskopische Linse möglichst zweckmässig eingerichtet sein sollte, der Raum zwischen

Digitized by Google

den beiden Linsen und dem Metallringe mit einer Masse ausgefüllt sein müsste, deren Brechungsvermögen dem des Glases nahe kommt, z. B. mit Canadabalsam. Späterhin machte er, gemäss den von **Wollaston** aufgestellten Principien, den Vorschlag, in eine Kugel eine ringförmige Grube zu schleifen (Fig. 24); diese sollte die Stelle des eben genannten Metall-



Brewster's ringförmig vertiefte Kugel.

Andere Form von Coddington's Vogelaugenlinse.

Cylinderlupe.

Coddington's Coneopsid.

ringes vertreten. Dieser Vorschlag wurde beifällig aufgenommen. **Coddington** (*Phil. Transact.* 1830, p. 69) glaubte ihn namentlich dadurch leichter ausführen zu können, dass er der Grube eine schärfere Form gab (Fig. 25 *A*). Es sind hier die Residuen der zwei planconvexen Linsen in der Form zweier abgestutzter Kegel vereinigt, und deshalb wurden solche Linsen auch **Coneopside** oder **Vogelaugenlinsen** genannt. In Fig. 25 *B* ist dargestellt, wie sie gewöhnlich gefasst werden, um sie bequem in der Tasche tragen zu können. Eine andere Form der **Coddington**'schen Vogelaugenlinsen ist Fig. 26 dargestellt, die dem beabsichtigten Zwecke offenbar gleich gut entspricht. Dass derartig gestaltete Linsen aus sehr kleinen Kugeln sich herstellen lassen, erhellt aus der Angabe **Brewster**'s (*Treatise on the microscope.* Edinb. 1837, p. 30), dass **Blackie** aus Granat ein solches rinnenartig ausgehöhltes Kügelchen geschliffen habe, dessen Durchmesser nur $^1/_{24}$ engl. Zoll, also etwa 1 Millimeter betrug. Wirklich bekommt man durch solche **Coddington**'sche Linsen, wenn sie gut gearbeitet sind, wie die von **Lerebours** bezogenen, ein sehr scharfes Bild. Sie sind indessen mit einer Unvollkommenheit behaftet, wodurch sie sich für ihren eigentlichen Zweck, nämlich als Lupe zu dienen, weniger eignen. Dies ist die geringe Entfernung des Focus, weshalb es nöthig wird, das Object der Oberfläche der Linse mehr zu nähern, als bei einer planconvexen oder biconvexen Linse von gleich starker Vergrösserung nöthig ist.

Der nämliche Tadel trifft auch die Cylinderlupen (Fig. 27), die schon

Digitized by Google

seit langer Zeit hier und da in Gebrauch sind, über deren erste Anfertigung mir aber nichts bekannt ist. Sie bestehen aus einem cylinderförmigen, an beiden Enden convex geschliffenen Stücke Glas, welches in eine messingene Röhre gefasst ist. Ihnen entgeht ausserdem auch der Vorzug, die sphärische Aberration zu verbessern, denn diese ist bei ihnen gleich gross, wie bei einer biconvexen Linse von gleicher Krümmung, weil die ringförmige Grube fehlt. Dies zu bemerken, erscheint deshalb nicht überflüssig, weil solche Cylinderlupen nicht selten als Coddington'sche Lupen verkauft werden.

Als eine Modification der Cylinderlupe ist die Stanhope'sche Linse (Fig. 28) zu nennen. In der Regel ist sie in eine silberne Hülse gefasst, die mit einem Ringe in Verbindung steht, um sie in der Hand zu halten. An beiden Seiten hat sie gewölbte Oberflächen; die dem Auge zugekehrte Fläche ist aber weit stärker gewölbt und so geschliffen, dass kleine auf der andern gewölbten Fläche liegende Objecte sich gerade in der gehörigen Entfernung befinden, um scharf gesehen zu werden. Die Convexität dieser letzteren Fläche trägt daher nichts zur Vergrösserung bei; sie soll nur der Krümmung des Gesichtsfeldes correspondiren und dieselbe möglichst aufheben. Es ist aber klar, dass die nämliche Stanhope'sche Linse nicht für alle Personen passen kann, da kein Mittel vorhanden ist, die Entfernung der Objecte der gewöhnlichen Sehweite der verschiedenen Augen entsprechend abzuändern. Diese Unvollkommenheit lässt sich nur dadurch ausgleichen, dass man aus einem Vorrathe solcher Linsen eine aussucht, die wirklich ein scharfes und reines Bild giebt, ohne dass das Accommodationsvermögen des Auges dabei besonders in Anspruch genommen wird. Die Anzahl der Objecte, deren Natur es gestattet, dass man sie auf eine gewölbte Fläche bringt, um sie ganz genau zu erkennen, ist aber gewiss klein, und deshalb wird diese Linseneinrichtung, der sonst unverkennbar eine ganz richtige Idee zu Grunde liegt, wohl stets nur in einem beschränkten Maasse sich nützlich bewähren. Nach der Eigenthümlichkeit der Form lassen sich diese Linsen auch nicht klein und gewölbt genug machen, dass man damit irgend erhebliche Vergrösserungen hervorbringen könnte. Die von Lerebours verfertigten Linsen, wie eine in der obenstehenden Figur abgebildet ist, geben meistens eine 30malige Vergrösserung. Freilich soll ihm auch eine 80malige Vergrösserung gelungen sein (*Comptes rendus* 1841, 29. Mars); allein auch das ist noch nicht ausreichend für praktische Zwecke, wie die Untersuchung des Blutes, der Sputa und anderer Auswurfsstoffe, wozu man diese Linsen im Besondern empfohlen hat.

Fig. 28.



Stanhope's Linse.

Endlich habe ich auch noch der **Lupen mit cyliudrischen Oberflächen** zu gedenken, die seit ein Paar Jahren in den Handel gekommen sind. Eine solche Lnpe (Fig. 29) besteht aus einer viereckigen Glasplatte, deren beide Flächen Abschnitte eines Cylinders sind, aber dergestalt, dass die Achsen der beiden Cylinder einander rechtwinkelig kreuzen. Es ist mir unbekannt, wer zuerst auf diese Lupen verfallen ist; gegenwärtig liefert sie in Paris R. **Luquin**, Rue Charlot au Marais Nr. 73. Bis jetzt scheint man diese Lupen nur schwach vergrössernd zu machen; ich habe keine mit einer Brennweite unter 5 Centimeter gesehen. Natürlich liesse sich aber den Flächen der Linse eine stärkere Krümmung geben, als wären sie Cylindern von geringerem Durchmesser entnommen, und dadurch könnte die Vergrösserung solcher Lupen zu gleicher Höhe ansteigen, wie bei convexen Linsen. In einer Beziehung wenigstens verdienen solche Lupen vor den gebräuchlichen den Vorzug: sie haben ein ungemein grosses Gesichtsfeld und in dessen verschiedenen Theilen findet die gleiche Vergrösserung statt, so dass gerade Linien zunächst der Peripherie ebenfalls noch geradlinigt erscheinen.

Fig. 29.



Lupe mit cylindrischen Oberflächen.

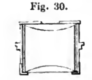
Es steht noch zu erwarten, ob sie in der Zukunft auch noch andere Verwendung finden werden. Meines Erachtens müssten sie im Oculare des zusammengesetzten Mikroskopes die gewöhnlichen convexen Gläser ersetzen können, und ein solches Ocular dürfte sich wohl durch ein grosses und dabei gerades Gesichtsfeld auszeichnen. Cylindrische Flächen lassen sich aber schwerer schleifen als einfach convexe, und deshalb kosten auch die Lupen mit cylindrischen Oberflächen weit mehr als die gewöhnlichen Lupen.

27 Ein bedeutender Fortschritt zur Verbesserung des einfachen Mikroskopes, und damit auch, wie wir weiter sehen werden, des zusammengesetzten Mikroskopes, erfolgte dadurch, dass man zwei oder mehr Linsen zu einem Systeme vereinigte. Bei einer früheren Gelegenheit (I. §. 124) habe ich, soweit der Zweck dieses Buches es zuliess, dargethan, dass durch eine derartige Vereinigung nicht nur die Vergrösserung zunimmt, sondern auch die sphärische und chromatische Aberration verbessert wird; daher man, ohne der Schärfe des Bildes Eintrag zu thun, solchen Doublets und Triplets eine viel grössere Oeffnung geben kann, wodurch

die Helligkeit gesteigert wird, mit der ja das unterscheidende Vermögen gleichen Schritt hält.

Solche Linsensysteme sind zwar erst in der neueren Zeit in allgemeineren Gebrauch gekommen; ihre Nutzbarkeit scheint aber schon frühzeitig von Einzelnen erkannt worden zu sein. Schon oben (§. 18) bemerkte ich, dass man wohl annehmen müsse, Leeuwenhoek habe Doublets und selbst Triplets verfertigt. Aber noch vor diesem hatte Eustachio Divini (*Phil. Transact.* 1668. Nr. 42, p. 842) eine Vereinigung von zwei planconvexen Linsen, die mit ihren convexen Flächen an einander stiessen, als Ocular für ein zusammengesetztes Mikroskop benutzt, und später werden wir sehen, dass Grindl von Ach, der nur wenig später lebte, in seinem zusammengesetzten Mikroskope alle Linsen in dieser Art Paarweise vereinigte, und dass auch Andere um die nämliche Zeit eine Vereinigung von zwei Linsen als Objective benutzten. Was namentlich das einfache Mikroskop betrifft, so findet man bei Joblot (*Descriptions et usages de plusieurs nouveaux microscopes.* Par. 1718, p. 43) eins beschrieben und abgebildet, wo zwei biconvexe Linsen einander bis über die Brennweite genähert sind, so dass sie deshalb, wie Joblot selbst angiebt, zusammen ein in die rechte Stellung gebrachtes Bild des Objectes erzeugen. Er verfertigte auch solche mit planconvexen Linsen und brachte diese in zwei besondere auf einander verschiebbare Röbrchen, wodurch verschiedenartige Vergrösserungen erzielt wurden. Solche Vereinigungen zweier nur wenig vergrössernden Linsen sind späterhin als Lupen in Gebrauch geblieben, und bei den englischen Mikroskopen aus der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts kommen sie nicht selten vor. In Fig. 30 ist eine, die zu einem Adams'schen Mikroskope gehört, im Durchschnitte dargestellt.

Fig. 30.



Doublet von Adams.

Indessen war Euler (*Mém. de l'Acad. de Berlin.* 1764, XX. p. 105) der erste, der die Vorzüge einer solchen Vereinigung aus theoretischen Gründen nachwies und zugleich auch die Form der Linsen berechnete, die sich am besten dazu eignen müsste. Die Rechnung führte ihn darauf, dass ein solches Doublet aus einer biconvexen Linse und einem Meniscus bestehen sollte. Bei der erstern müsse der Radius der Vorderfläche das 4,7982fache und jener der Hinterfläche das 0,6085fache der Focaldistanz betragen; bei der zweiten müsse der Radius der Vorderfläche — 0,8153 und jener der Hinterfläche 0,3248 der Focaldistanz betragen. Der Abstand der beiden Linsen von einander müsse je nach der Brennweite ein verschiedener sein. Euler's Empfehlung scheint aber wenig Eingang gefunden zu haben; wenigstens ist mir nicht bekannt, dass jemals ein solches Doublet nach seiner Berechnung angefertigt worden ist.

Im Jahre 1821 wurde der Gegenstand wiederum von John Her-

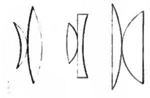
schel (*Phil. Transact.* 1821, p. 246) aufgenommen. Er berechnete die Krümmungsgrösse für verschiedene Combinationen, bei denen die Aberrationen mehr oder weniger vollständig aufgehoben werden. Die erste hat eine gewisse Uebereinstimmung mit der bereits von Euler vorgeschlagenen; sie besteht ebenfalls aus einer biconvexen Linse und einem Meniscus. Während aber Euler die beiden Linsen in eine gewisse Entfernung von einander brachte, die je nach der Brennweite des Systems verschieden war, brachte sie Herschel, wie in Fig. 31, in Berührung mit einander, daher denn auch die Krümmungen der Linsen für jede Brennweite andere sein mussten. Er berechnete folgende Krümmungen und Brennweiten für zwei solche Doublets:

	I.	II.
Brennweite der ersten Linse	+ 10,000	+ 10,000
Radius der ersten Fläche	+ 5,833	+ 5,833
Radius der zweiten Fläche	— 35,000	— 35,000
Brennweite der zweiten Linse	+ 17,829	+ 5,497
Radius der ersten Fläche	+ 3,688	+ 2,954
Radius der zweiten Fläche	+ 6,291	+ 8,128
Brennweite der vereinigten Linsen	+ 6,407	+ 3,474

Im Mikroskope muss die gewölbte Seite dem Auge zugekehrt sein.

Durch diese Vereinigung wird besonders die Aberration in der Mitte des Sehfeldes gehoben; dagegen passt sie weniger dazu, Objecte in einem ausgedehnten Gesichtsfelde mit gleicher Schärfe zur Wahrnehmung zu bringen. Für diesen Fall eignet sich eher die Vereinigung zweier Linsen, wie in Fig. 32, wenngleich dadurch die Aberration bei weitem nicht in dem Maasse verbessert wird, wie durch die vorige Combination. Sie besteht aus einer Linse von der besten Form (I. §. 51), verbunden mit einer planconvexen Linse, deren Brennweite sich zu jener der ersten verhält wie 2,6 : 1.

Fig. 31. Fig. 32. Fig. 33.



Herschel's Doublets.

Herschel fand, dass mit einem solchergestalt eingerichteten Doublet, dessen Brennweite 1,84 engl. Zoll betrug, Objecte, die um 40° von der Axe entfernt liegen, noch gleich deutlich gesehen werden können, wenn das Sehfeld sich bis zu 75° über die Axe hinaus erstreckt. Zu Lupen würde daher ein solches Doublet gewiss ganz brauchbar sein.

Herschel hat noch eine dritte Vereinigungsweise der beiden Linsen vorgeschlagen (Fig. 33), die in der Hauptsache mit derjenigen übereinstimmt, deren sich der vorher genannte Eustachio Divini schon vor fast 200 Jahren bedient hatte: man lässt nämlich zwei planconvexe Linsen mit den gewölbten Oberflächen an einander stossen. Bestehen die Linsen aus gewöhnlichem Glase und haben sie gleiche Krümmung, dann

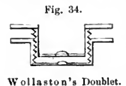
beträgt die Aberration nach der Berechnung nur 0,6028 jener Aberration, die bei einer Linse von der besten Form stattfindet. Nimmt man dagegen, wie in Fig. 33 zwei planconvexe Linsen, deren Brennweiten sich wie 1 : 2,3 zu einander verhalten, dann beträgt die Aberration nur noch 0,2481.

Wie verdienstlich auch diese Bestrebungen Herschel's waren, wie richtig seine theoretischen Ansichten und die darauf sich stützenden Berechnungen, sie haben nur wenig zur wirklichen Verbesserung des Mikroskopes beigetragen, weil sich in der praktischen Ausführung Schwierigkeiten entgegenstellen. Denn es fällt gar schwer, sehr kleine Linsen, wie sie für das einfache Mikroskop bei nur etwas bedeutenden Vergrösserungen gefordert werden, genau mit den im Voraus berechneten Krümmungen zu schleifen.

Glücklicher war hierin Wollaston; ihm gehört das Verdienst, eine solche Einrichtung der Doublets gelehrt zu haben, die sich zu einer praktischen Benutzung weit mehr eignet, da es nicht sowohl auf eine ganz genaue Form ankommt, als vielmehr auf ihren relativen Abstand, den doch der Mechanikus weit eher in seiner Gewalt hat; denn er kann ja diesen Abstand so lange ändern, bis er durch den Versuch jene Vereinigung der Linsen festgestellt hat, bei welcher die entschiedenste Wirkung herauskommt. Es war Wollaston's letzte wissenschaftliche Arbeit; einen Monat, nachdem dieselbe (*Phil. Transact.* 1829, p. 9) erschienen war, starb der ausgezeichnete Mann.

Wollaston giebt selbst an, dass er auf die Idee seiner Doublets durch die Betrachtung des Huygens'schen Ocnlares für Teleskope kam, welches, wenn es umgekehrt wird, ein Mikroskop bildet. Die zuerst nach Wollaston's Vorschrift verfertigten Doublets (Fig. 34) bestanden aus zwei planconvexen Linsen, in besondere Röhrchen gefasst, die schraubenförmig in einander greifen, so dass man einfach und bequem die Entfernung ermitteln kann, bei welcher das Bild am hellsten und schärfsten erscheint. Die Brennweite der unteren Linse sollte sich zu jener der oberen dem Auge zugekehrten wie 1 : 3 verhalten; auch wollte er gefunden haben, die Entfernung ihrer platten Oberflächen betrage am besten 1,4 bis 1,5 der Brennweite der kleineren Linse.

Fig. 34.

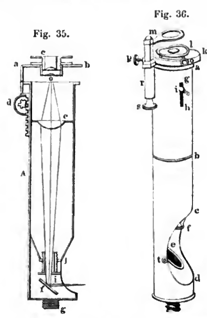


Wollaston's Doublet.

Wollaston beschrieb ferner ein Mikroskopgestell von eigenthümlicher Form und Einrichtung, wobei der Hauptzweck dahin ging, den durch seine Doublets betrachteten Objecten eine bessere Beleuchtung zu geben. Ich werde später, bei den Beleuchtungsapparaten, auf diese Einrichtung weiter zurückkommen; sie hat den Grund gelegt zu mancherlei später

Digitized by Google

hierin vorgenommenen Verbesserungen. Ich gebe aber hier ihre Beschreibung, die durch Fig. 35 erläutert wird. *A* ist ein messingenes Rohr, ungefähr 6 Zoll lang und 1 Zoll oder mehr breit; durch die Schraube *g* kann es auf das Kästchen befestigt werden, worin das Instrument, wenn es nicht gebraucht wird, zu liegen kommt. Bei *l* hat das Rohr eine grosse Oeffnung, durch welche das Licht auf den Spiegel *f* fällt. Ueber diesem Spiegel ist bei *i* ein Diaphragma angebracht, um die äussersten Strahlen abzuschneiden, welche vom Spiegel reflectirt werden. Am oberen Ende des Rohrs befindet sich bei *e* eine planconvexe Linse, mit einer Brennweite von etwa $^3/_4$ Zoll, deren gerade Fläche nach oben sieht.



Wollaston's einfaches Mikroskop. Wollaston's einfaches Mikroskop nach Dollond.

Die vom Spiegel reflectirten Strahlen werden durch diese Linse in *o* vereinigt, wo die Platte, welche das Rohr oben schliesst und welche als Objecttisch dient, eine Oeffnung besitzt. Bei *d* befindet sich ein gezahntes Rad mit einem Triebe, woran der doppelt gebogene Arm *ab* befestigt ist; in diesen aber kommt das Doublet *c*, welches durch Umdrehen des Knopfes *d* höher oder niedriger gestellt werden kann.

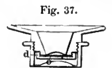
Spätere Mechaniker haben einige Veränderungen an dieser Einrichtung vorgenommen; dahin gehört das in Fig. 36 dargestellte, von Dollond herrührende Mikroskop. Der Trieb ist hier durch eine feine Schraube ersetzt, deren geränderter Knopf bei *s* sichtbar ist. Der Objecttisch *l* lässt sich in verschiedenen Richtnngen bewegen durch zwei Schranben *p* und *o*, die um 90° von einander abstehen. Ferner steckt bei diesem Mikroskope die Beleuchtungslinie in einem kurzen Röhrchen, welches in dem grösseren Rohre auf nnd nieder bewegt werden kann, mittelst zweier kleiner Knöpfe, die durch zwei schlitzförmige Oeffnungen aus dem Rohre hervorragen. Einen dieser Knöpfe *i* sieht man bei *gh*. Der Zweck dabei ist, die Linse dem Objecte näher zu bringen oder weiter davon zu entfernen, und so die Beleuchtung zu verstärken oder zu mässigen. Man muss aber zugehen, dass diese Beweglichkeit der Linse

nicht im ursprünglichen Plane Wollaston's lag; er wollte das Object immer gerade im Brennpunkte der Linse haben *).

Die von Wollaston erfundenen Doublets hatten sich bald eines grossen Beifalls zu erfreuen, und es wurden einige Verbesserungen damit vorgenommen; namentlich Pritchard und Chevalier erwarben sich hierin Verdienste. Pritchard beobachtete, dass bei jener Entfernung beider Linsen von einander, welche Wollaston angegeben hatte, das Bild keineswegs das Maximum von Schärfe und Helligkeit besitzt; er kam zu dem Schlusse, diese Entfernung müsse gleich sein der Differenz zwischen den Brennweiten beider Linsen, mit Berücksichtigung jedoch ihrer Dicke. Er fand ferner, dass das Verhältniss zwischen den Brennweiten der beiden Linsen nicht gerade 1 : 3 sein muss, vielmehr in grosser Breite variiren kann. Das einzige Erforderniss ist, dass die Differenz mehr beträgt als die Dicke der vorderen Linse, damit, zumal bei starken Vergrösserungen, der Focus des ganzen Systems um so weiter von der unteren Linse entfernt ist, je grösser die Differenz zwischen den Brennweiten der einzelnen Linsen ist. Das ist aber sehr wichtig für die praktische Benntzung der Doublets. Pritchard glaubt daher, das Verhältniss dürfe nie unter 1 : 3 fallen; er hat aber mehrere ganz gute gemacht mit dem Verhältniss von 1 : 6. Er brachte endlich auch ein Diaphragma zwischen die beiden Linsen, das sich nach ihm am besten gleich oberhalb der unteren Linse befindet. Es versteht sich aber von selbst, dass ein solches Doublet ganz sorgfältig centrirt sein muss, denn ist die beste Stellung der Linsen einmal ermittelt, so müssen diese unveränderlich darin verharren. Pritchard versichert, dass manchmal ganze Tage nöthig sein können, um ein Doublet, welches auseinandergenommen wurde, wiederum in Ordnung zu bringen.

Chevalier versah seine Doublets (Fig. 37) ebenfalls mit einem Diaphragma *d*, dessen Oeffnung bei *o* sichtbar ist. Seine Einrichtung unterscheidet sich aber von der ursprünglichen Wollaston'schen und von der Pritchard'schen darin, dass er zwei planconvexe Linsen von gleicher Brennweite nimmt, von denen jedoch die obere merklich kleiner ist als die untere dem Objecte zugewendete. Seine Absicht hierbei ist, die Linsen einander näher zu bringen, damit das ganze System eine geringere Dicke hat und zugleich auch mehr Helligkeit

Fig. 37.



Chevalier's Doublet.

*) Das Mikroskop, welches ich seit einer Reihe von Jahren mit den oben (S. 46) beschriebenen Glaskügelchen benutzt habe, besitzt auch eine solche Einrichtung. Nur ist die Beleuchtungslinse bei weitem grösser, das Rohr daher weiter, und unter dem Objecttische befindet sich ausserdem noch ein bewegliches Diaphragma. S. *Bulletin des Sc. phys. et natur.* 1839.

verschafft; auch wird überdies dadurch der Raum zwichen dem Objecte und der untersten Linse des Doublets grösser.

Pritchard sowohl wie Chevalier haben auch Triplets für das einfache Mikroskop verfertigt. Ihrer Einrichtung liegt das nämliche Princip, wie bei den Doublets, zu Grunde; ihre Ausführung erfordert natürlich noch mehr Sorgfalt, die aber auch durch die grössere Schärfe belohnt wird, mit welcher schwere Probeobjecte hervortreten.

Bei den Pritchard'schen Triplets hat die dritte oder unterste Linse einen längeren Focus als die beiden anderen, und sie befindet sich auch in einiger Entfernung von diesen.

Später empfahl Holland (*Transactions of the Society of Arts.* 1832. Vol. 49) eine andere Einrichtung, welche sehr gerühmt wird (Fig. 38). Es sind nämlich drei planconvexe Linsen, von denen die beiden ersteren sich berühren, während ein Diaphragma zwischen ihnen und der oberen Linse befindlich ist. Ein solches Triplet soll ein Strahlenbüschel von 65° mit vollkommener Schärfe durchlassen.

Fig. 38.



Holland's Triplet.

Dass ein Doublet oder Triplet vor einer einfachen gleich stark vergrössernden Linse wirklich den Vorzug verdient, mag aus der folgenden Parallele erhellen.

Zu einem einfachen Taschenmikroskope von Dollond gehören vier biconvexe Linsen mit folgenden Vergrösserungen: Nr. 1. 77 Male, Nr. 2. 185 Male, Nr. 3. 331 Male, Nr. 4. 480 Male*). Ich benutzte ein Nobert'sches Täfelchen als Object, und fand, dass unter den günstigsten Umständen durch Nr. 1. in keiner Gruppe Striche sich erkennen liessen, durch Nr. 2. die Striche der vierten Gruppe zu erkennen waren, durch Nr. 3. die der fünften Gruppe; durch Nr. 4. endlich kam man auch zu keiner höheren Gruppe.

Mit zwei Pritchard'schen Doublets, welche 240 Male und 312 Male vergrössern, wurde das nämliche Nobert'sche Täfelchen geprüft. Mit dem ersten waren die Striche der fünften Gruppe zu unterscheiden, mit dem zweiten jene der sechsten Gruppe.

---

*) Dies ist die stärkste geschliffene Glaslinse, die ich in Händen gehabt habe. Es sind aber allerdings noch stärkere verfertigt worden. Fontana (*Traité sur le venin de la vipère.* p. 288) benutzte zur Untersuchung des Muskelgewebes eine Linse mit $^1/_{90}$ Zoll Brennweite: dies giebt für 8 Zoll Sehweite eine 720malige, für 25 Centimeter Sehweite eine 825malige Vergrösserung. Diese Linse soll aber noch durch Linsen von Gould (Schuhmacher's *Astronom. Nachrichten.* VIII. S. 104) übertroffen werden, von denen die stärkste nicht weniger als 1100 Male im Durchmesser vergrössern soll. Es ist aber nicht mit angegeben, für welche Sehweite diese Vergrösserung berechnet wurde, und wiederholt habe ich mich davon überzeugt, dass man sich hierin nicht immer auf die Angaben der Instrumentenmacher verlassen darf.

Digitized by Google

Mit einem Chevalier'schen Doublet, das nur 48 Male vergrösserte, waren die Striche der ersten Gruppe erkennbar, und mit einem andern, welches 317 Male vergrösserte, die Striche der sechsten Gruppe. Dagegen konnte ich mit einem Triplet von Chevalier, welches 387 Male vergrösserte, nur die Striche der fünften Gruppe wahrnehmen, woran vielleicht eine nicht ganz genaue Centrirung Schuld sein mag.

Ein Uebelstand kommt bei den Doublets und noch mehr bei den Triplets vor, das ist die geringe Entfernung der unteren Linse vom Objecte, die natürlich, auch unter dēn günstigen Umständen, immer kleiner ausfällt, als wenn eine einzelne Linse von gleichem Vergrösserungsvermögen genommen wird. Bei starken Vergrösserungen muss man deshalb sehr dünne Glas- oder Glimmerblättchen als Deckplättchen nehmen. Für schwächere Vergrösserungen, die zur Zergliederung auf dem Objecttische benutzt werden, hat aber Chevalier (a. a. O. S. 38) eine eigene Einrichtung erfunden: er bringt nämlich eine achromatische concave Linse oberhalb des Doublets an. Je grösser der Abstand ist, um so bedeutender ist die Vergrösserung, und so wird der Zwischenraum merklich grösser, als wenn blos ein Doublet benutzt wird. Chevalier empfiehlt diese Einrichtung nicht blos bei dem zu Zergliederungen bestimmten Mikroskope, die Augenärzte sollen sie auch zur Untersuchung von Augenkrankheiten benutzen. — Wir werden alsbald sehen, dass die späterhin von Brücke für den gleichen Zweck empfohlene Lupe auf dem nämlichen Principe beruht.

Ich habe noch einer anderen Anwendungsweise zu gedenken, wozu Chevalier (*Comptes rendus* 1841. 8. Mars) seine Doublets benutzt haben will. Er setzt nämlich ein kurzes Röhrchen oder einen Ring daran und davor kommt ein gerades Glastäfelchen, dessen Aussenfläche sich gerade in der Brennweite der Linse befindet, so dass darauf liegende Objecte mit Schärfe gesehen werden können. Damit aber der kleine Apparat auch für Augen von verschiedener Sehweite passe, ist der Ring mit dem Glastäfelchen beweglich. Diese Einrichtung soll die Stanhope'sche Linse (S. 59) ersetzen, vor der sie auch mehrfache Vorzüge hat, vor Allem die grössere Schärfe und Helligkeit; sodann kann man stärkere Vergrösserung damit erreichen, als mit dieser, und ausserdem entspricht sie dem verschiedenartigen Accommodationszustande der Augen. Nur in untergeordneten Punkten steht sie nach: sie hat ein kleineres Gesichtsfeld als die Stanhope'sche Linse, auch kostet sie natürlich mehr, als dieses einfachere Instrument.

Ich komme jetzt auf eine andere Reihe von Versuchen, die der Zeit 28
nach zum Theil mit den vorhergehenden zusammenfallen und darauf ausgingen, das einfache Mikroskop dadurch zu verbessern, dass man andere Substanzen als Glas zur Herstellung von Linsen verwendete.

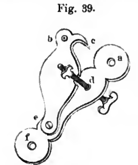
Digitized by Google

Zunächst sind hier jene Körper zu nennen, die sich leichter in die Linsenform bringen lassen, als das schwer zu bearbeitende Glas.

Bereits im Jahre 1655 machte Petrus Borellus (*De vero Telescopii inventore.* Lib. II, p. 51) den Vorschlag, eine Auflösung von Fischleim dazu zu nehmen, der in kleine Aushöhlungen gegossen werden sollte, wo er beim Erkalten die linsenförmige Gestalt bekäme; solche Fischleimlinsen, meinte er, müssten selbst noch Grösseres leisten als Glaslinsen, „weil sie mit den Geweben und den Flüssigkeiten des Auges besser übereinstimmten.“ Seinen Vorschlag scheint er übrigens nicht in Ausführung gebracht zu haben, oder es würde ihm bald genug die Schwäche dieses Grundes entgegengetreten sein.

Am Ende des 17. Jahrhunderts ersann Stephen Gray (*Phil. Transactions* 1696. Nr. 221. p. 280) einen kleinen Apparat, mit dessen Hülfe ein kleiner Wassertropfen die Stelle einer Glaslinse oder eines kleinen Glaskügelchens vertreten sollte. Dieses Wassermikroskop (Fig. 39) hatte folgende Einrichtung. Zwei Metallplatten, *af* und *be*, waren durch eine Schraube *e* so verbunden, dass sich die Platte *eb* um dieselbe wie um einen Mittelpunkt drehte. So konnte bald die Spitze *c* mit daran befestigten undurchsichtigen Körpern, bald die runde Oeffnung *b*, in welche eine Flüssigkeit gebracht werden konnte, vor die Oeffnung *a* kommen. In diese Oeffnung *a*, die etwa $^1/_{10}$ Zoll gross war, wurde mit einer Nadelspitze ein Wassertropfen gebracht, der darin die Kugelgestalt annahm und als Vergrösserungslinse wirkte. Die beiden Platten wurden einander durch die Schraube *d* genähert.

Fig. 39.



Gray's Wassermikroskop.

Dieses Wassermikroskop von Gray scheint damals viel Beifall gefunden zu haben; wenigstens findet man bei Zahn (*Oculus artificialis.* Ed. 2. p. 750) und bei Bion (*Mathematische Werkschule.* 3. Aufl. 1726. S. 43) noch andere zu gleichem Zwecke zu benutzende kleine Apparate beschrieben, die ich indessen als unbedeutend mit Stillschweigen übergehe. Gray selbst (*Phil. Transact.* 1697. p. 540) hat statt Wasser auch ein Fischleimdecoct genommen.

Die Vergrösserung, welche man durch gewölbte Wasseroberflächen erzielen kann, suchte Gray auch noch auf eine andere Weise nutzbar zu machen. In eine Messingplatte von etwa $^1/_{10}$ Zoll Dicke wurde ein kleines Loch gebohrt, das noch nicht $^1/_{20}$ Zoll Durchmesser hatte. In diese cylindrische Höhle brachte er Wasser, worin sich Infusorien befanden, so dass dasselbe zu beiden Seiten kugelförmig über den Rand der Oeffnung hervorragte. Er hatte so eine kleine Cylinderlinse aus Wasser, deren

Digitized by Google

Brennpunkt im Cylinder selbst lag; daher alle Objecte, die sich in dieser Entfernung im Wasser befanden, stark vergrössert gesehen wurden.

In neuerer Zeit hat Brewster (*New philos. Instruments.* 1819. p. 413 und *Treatise on the Microscope.* 1837. p. 25) zu dem nämlichen Zwecke noch andere Flüssigkeiten benutzt, die ein stärkeres Brechnngsvermögen besitzen und weniger flüssig sind, nämlich Schwefelsäure, Ricinusöl, Bernsteinöl, Terpentinfirniss, Copaivabalsam und Canadabalsam. Letzterer bewährte sich hierbei am besten. Mit der Spitze einer Nadel oder mittelst eines Haares brachte er einen kleinen Tropfen von einer dieser Flüssigkeiten auf die Unterfläche eines geraden Glastäfelchens, das vorher mit einer Natronsolution gereinigt worden war, und bekam so eine planconvexe Linse. Eine biconvexe Linse erhielt er, wenn er auch auf die obere Fläche ein solches Tröpfchen brachte. Er will auf solchem Wege Linsen bekommen haben, die zu klein waren, als dass man sie noch mit blossem Ange sehen konnte. Auch grössere Linsen mit einer fast hyperbolischen Krümmung will er auf diese Weise erhalten haben. Einige davon blieben länger als ein Jahr hindurch benntzbar, und er meint, dass sie es noch länger geblieben sein würden, wenn der Staub abgehalten worden wäre.

Dass auf solche Weise zu vorübergehendem Gebrauche ziemlich gute Linsen sich herstellen lassen, kann ich bestätigen. Am besten nimmt man dazu eines von den dünnen Deckplättchen, die gegenwärtig allgemein den Mikroskopen beigegeben werden, und darauf bringt man einen kleinen Tropfen eines ziemlich dickflüssigen Canadabalsams. Da uns aber so viele andere und bessere Mittel zu Gebote stehen, Objecte vergrössert zu betrachten, so wird man selbstverständlich nur selten, wenn überhaupt, zu diesem Hülfsmittel seine Zuflucht nehmen.

Das Nämliche gilt von den Krystalllinsen kleiner Fische, die von Brewster ebenfalls zu Mikroskopen empfohlen worden sind. Dieselben vertrocknen sehr schnell und verlieren dadurch ihre Form und ihre Durchsichtigkeit. Ausserdem ist es auch sehr schwer, dieselben immer dergestalt in die Oeffnung einer Metallplatte, die in ein Linsenröhrchen gefasst ist, zu bringen, dass ihre optische Axe genau in der Sehaxe liegt. Doch hat es sich mehrmals getroffen, dass ich recht gut durch eine solche Linse sehen konnte, und ich kann mich sogar nicht erinnern, jemals ein Bild mit mehr Schärfe und Klarheit gesehen zu haben, als wo ich einmal die Linse eines noch ganz jungen Aals benutzte, die nicht weniger als 536 Male im Dnrchmesser vergrösserte.

Wenn die Versuche, auf bequemere Weise, als durch das Schleifen 29
von Glaslinsen, sich einfache Mikroskope zu verschaffen, schliesslich als misslungen zu betrachten sind, so kommen wir jetzt auf eine andere Reihe von Versuchen, die besseren Erfolg gehabt haben, wenngleich auch

sie jetzt als der Geschichte verfallen gelten können, nachdem die Glaslinsen selbst späterhin so ungemeine Verbesserung erfahren haben. Ich meine nämlich das Verfertigen von Linsen aus Bergkrystall und aus verschiedenen Edelsteinen, wie Saphir, Granat, Rubin, Beryll, Topas und Diamant.

Aus den im ersten Bande (§. 38. 41. 54. 57. 123.) entwickelten theoretischen Ansichten über diesen Gegenstand ergab sich, dass Linsen aus diesen verschiedenen Substanzen, namentlich aus Diamant, vor gleich stark vergrössernden Glaslinsen wegen der auffallend geringeren chromatischen und sphärischen Aberration den Vorzug haben, während sie zugleich bei dem nämlichen Krümmungsgrade weit stärker vergrössern. Darüber schweige ich also jetzt, und nur von den Versuchen soll die Rede sein, die successiv gemacht worden sind, Linsen aus anderen Substanzen als Glas zu schleifen.

Dass schon in den allerältesten Zeiten der Bergkrystall zu linsenförmigen Stücken geschliffen worden ist, wurde oben (S. 5) angegeben. Als der erste aus neuerer Zeit ist aber hier Lippershey zu nennen, der im Jahre 1608 das Teleskop erfand, und der nach van Swinden's Untersuchungen wahrscheinlich für die von den Generalstaaten zur Untersuchung seines Instruments ernannte Commission ein Teleskop verfertigte, dessen Linsen aus Bergkrystall geschliffen waren. Zuverlässiger ist es, dass etwas später Leeuwenhoek Linsen aus Bergkrystall geschliffen hat, wovon ebenfalls früher (S. 37) die Rede war.

Ausser diesen Beiden scheint Niemand andere als Glaslinsen geschliffen zu haben, bis Brewster (*New philos. Instr.* p. 403) im Jahre 1819 sich dahin aussprach, geschliffene Diamantlinsen müssten vor Glaslinsen den Vorzug verdienen, weil der Diamant nicht nur stärker strahlenbrechend ist, sondern auch zugleich eine schwächere Farbenzerstreuung bewirkt. Er konnte damals Niemand finden, der ihm eine solche Linse zu schleifen im Stande gewesen wäre. Dagegen verfertigte ihm Hill in Edinburg (*Treatise on the Microscope*, p. 14) zwei Linsen, die eine von Rubin, die andere von Granat, die in der That Glaslinsen bei Weitem zu übertreffen schienen.

Im Jahre 1824 nahm Goring die erste Idee von Brewster wieder auf und theilte sie Pritchard mit. Nach vielen missglückten Versuchen (s. *Microscopic Cabinet*, p. 107) erreichte es Pritchard endlich am 1. December 1824, die erste Diamantlinse herzustellen, die noch einige Unvollkommenheiten hatte. Kurz nachher gelang es ihm aber, zwei planconvexe Diamantlinsen mit einem Focus von $^1/_{20}$ und $^1/_{30}$ Zoll herzustellen, die sich ganz gut fürs Mikroskop eigneten. Ausser Pritchard und Hill haben weiterhin noch Adie, Blackie und Veitch in England, Lerebours, Chevalier und Oberhäuser in Paris, Plössl in Wien Linsen aus verschiedenen Edelsteinen geschliffen.

Es ist aber nicht blos die Härte dieser Edelsteine und die im Ver-

Digitized by Google

gleiche zum Glase schwere Bearbeitung, die der Anfertigung solcher Linsen hinderlich ist, sondern im Besondern auch ihre krystallinische Structur. Bergkrystall, Saphir, Rubin und Topas, die zu den zweiaxigen Krystallen gehören, haben aus diesem Grunde auch eine doppelte Brechung, und es muss daher durchaus bei einer daraus geschliffenen Linse die optische Axe mit der Axe der doppelten Brechung zusammenfallen, was der Natur der Sache nach nur schwer mit vollkommener Genanigkeit zu erreichen ist. Der Granat gehört zum regelmässigen Systeme und hat keine doppelte Strahlenbrechung; bei ihm ist aber die Farbe hinderlich, die freilich bei sehr kleinen Linsen gar sehr in Wegfall kommt, das Gesichtsfeld aber doch immer noch einigermaassen verdüstert. Der Diamant endlich gehört auch zu den gleichaxigen Krystallen; dessenungeachtet hat man mit einzelnen daraus geschliffenen Linsen zwei oder drei Bilder beobachtet, die sich zum Theil deckten, wodurch eine solche Diamantlinse ganz unbrauchbar war. Der Ursache dieser auf den ersten Blick räthselhaften Erscheinung hat Brewster (*Treatise* p. 18. *Edinb. phil. Transact.* VIII, p. 157. *Phil. Magaz.* VII, p. 245) näher nachgeforscht. Er fand, dass viele Diamanten aus über einander liegenden Schichten von verschiedenem Brechungsvermögen zusammengesetzt sind. Wenn daher diese Schichten mit der Axe der Linse ziemlich parallel verlaufen, so kann es nicht anders kommen, als dass man durch die Linse eben so viele Bilder sieht, als besondere Schichten vorhanden sind. Ist dagegen die Linse so geschliffen, dass ihre optische Axe senkrecht auf diesen Schichten steht, dann wird deren verschiedenes Brechungsvermögen ohne Einfluss sein und es wird blos ein einfaches Bild erscheinen.

Da die Anfertigung einer Diamantlinse, selbst abgesehen von der Kostbarkeit des Materials, viel Zeit und Mühe erfordert, so ist es wichtig, dass man vor dem Schleifen das Vorhandensein und die Richtuug dieser Schichten kennt. Das beste Mittel hierzu ist dieses, dass man erst zwei Flächen auf den Stein schleift und dann in einem verdunkelten Zimmer einen durch eine enge Oeffnung des Fensterladens eindringenden Sonnenstrahl darauf fallen lässt. Die Schichten und deren Richtung erkennt man dann an der verschiedenen Reflexion der Strahlen. Brewster empfiehlt noch ein anderes Mittel, nämlich den Diamanten in ein mit Zimmtöl gefülltes Glasgefäss zu legen. Wegen des starken Brechungsvermögens dieser Flüssigkeit werden alle Brechungen an den unregelmässigen Oberflächen des Diamantes weit schwächer; dieser wird daher gleichsam durchscheinend, und man sieht alle seine inneren Unvollkommenheiten eben so gut, als man die bekannten Streifen des Flintglases wahrnimmt.

Da die Herstellung von Edelsteinlinsen so mühevoll und beschwerlich ist, so sind sie auch ziemlich theuer, wie man aus folgendem Pritchard'schen Preiscourant vom Jahre 1829 (Schuhmacher's *Astrono-*

Digitized by Google

mische Nachrichten. 1829. IX, S. 51) ersieht. Für die Vergrösserung sind 10 Engl. Zoll Sehweite angenommen.

Saphirlinsen.

Brennweite.	Vergrösserung.	Preis einer Linse.	
Engl. Zoll.		Pfd.Strl.	Schill.
1/10	100		
1/20	200	2	2
1/30	300		
1/40	400		
1/50	500	3	3
1/60	600		
1/80	800	4	4
1/100	1000	5	5

Die einzelne Diamantlinse kostet 10 bis 20 Pfd. Strl.

Plössl (Schuhmacher's *Astronom. Nachrichten* IX, S. 390) hatte bald nachher folgende Preise:

Eine Diamantlinse,	Vergrösserung	300 . . .	150 Gulden.
Eine Saphirlinse,	„	400 . . .	20 „
Linsen von Beryll, Topas u. Bergkrystall,	„	200-300 . .	10 „

Chevalier (*Die Mikroskope* u. s. w. S. 33) sagt: eine gute Diamantlinse würde 500 Francs kosten; oder richtiger, es liesse sich kein fester Preis dafür angeben. In seinem Preiscourante von 1842 gab er 150 Francs und darüber an.

Fragt man nun die Erfahrung, so werden diese höheren Kosten keineswegs durch die höheren Leistungen solcher Linsen aufgewogen, zumal nachdem das zusammengesetzte Mikroskop so bedeutende Verbesserungen erfahren hat und um einen mässigen Preis zu bekommen ist. Ich habe niemals Gelegenheit gehabt, Diamantlinsen zu prüfen, und will mich auf das Zeugniss von Goring und Brewster verlassen, dass diese Linsen, wenn sie gut gerathen sind, sich durch grosse Helligkeit und Schärfe auszeichnen. Da aber noch nie eine damit ausgeführte Beobachtung mitgetheilt worden ist, die man nicht eben so gut mit einem aplanatischen zusammengesetzten Mikroskope oder selbst mit einem guten Doublet hätte

Digitized by Google

ausführen können, so muss ich es sehr bezweifeln, dass die grossen davon gehegten Erwartungen sich verwirklichen dürften.

Eine von Pritchard verfertigte, 5 Pfd. 5 Schill. kostende Saphirlinse befindet sich in dem Utrechter physikalischen Cabinet. Sie giebt für 25 Centimeter Schweite eine 990malige Vergrösserung. Indem ich sie in das auf S. 64 beschriebene Wollaston'sche Mikroskop einsetzte, gelang es mir, damit die sechste Gruppe auf dem Nobert'schen Täfelchen recht gut zu erkennen, und selbst in der siebenten Gruppe waren die Striche guten Theils zu unterscheiden. Die Doublets und einfachen Linsen, deren optisches Vermögen ich auf S. 62 besprochen habe, lassen sich nicht mit dieser Linse vergleichen, weil sie ihr alle in der Vergrösserung nachstehen; dagegen hat eines von den Glaskügelchen, von denen S. 48 u. 49 die Rede war, ein fast gleich ansehnliches Vergrösserungsvermögen. Mit diesem Glaskügelchen nun, dessen Herstellung nicht mehr als ein Paar Minuten Zeit erforderte, wurde die siebente Gruppe fast gleich deutlich gesehen als die sechste Gruppe mit der kostbaren Saphirlinse! Es lässt sich dies nur so erklären, dass man annimmt, ein solches Glaskügelchen besitzt wahrscheinlich eine hyperbolische Form. Aber soviel ersicht man zur Genüge daraus, dass Edelsteinlinsen jetzt ein ganz überflüssiger Luxus geworden sind. Solches wird auch dadurch bestätigt, dass man in England, wo zuerst an ihre Anfertigung gedacht wurde, die Sache wieder hat fallen lassen. Quekett sagt wenigstens in seinem 1848 erschienenen Buche, man habe die Idee mit den Edelsteinlinsen jetzt ganz aufgegeben.

Dass auch Doublets und Triplets aus verschiedenen Edelsteinen sich eben so gut zusammensetzen lassen, als aus Glas, das versteht sich von selbst, und natürlich haben solche Vereinigungen auch den Vorzug vor einzelnen Linsen. Pritchard sowohl als Blackie haben dergleichen gearbeitet, die von Brewster (*Treatise*, p. 52) sehr gerühmt werden.

Ich sollte jetzt die Geschichte der wichtigsten Verbesserung vorneh- 30
men, die in der neueren Zeit am optischen Theile der Mikroskope stattgefunden hat, nämlich das Achromatisiren der Linsen durch die Vereinigung zweier Glassorten, die ein ungleiches Vermögen der Lichtbrechung und der Farbenzerstreuung besitzen. Da indessen der Einfluss dieser Verbesserung vorzugsweise am zusammengesetzten Mikroskope sich geltend gemacht hat, so will ich den Gegenstand lieber auf den folgenden Abschnitt versparen, und hier nur noch von den mancherlei mechanischen Vorrichtungen handeln, die gegenwärtig in Gebrauch sind, um Linsen und Linsensysteme praktisch verwendbar zu machen.

Bekanntlich theilt man diese Vorrichtungen im Allgemeinen ein in Lupen und in eigentlich sogenannte einfache Mikroskope. Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dass dies eigentlich eine willkürliche Eintheilung ist, insofern sich keine scharfe Grenze zwischen diesen beiden

Digitized by Google

Classen von Instrumenten ziehen lässt. Sie gründet sich aber auf die praktische Benutzung der Linsen als Vergrösserungsgläser, und deshalb mag sie auch hier beibehalten werden.

Lupen sind im Allgemeinen einfacher eingerichtete Instrumente, die keinen eigentlichen Objecttisch haben, nur 4 bis 20 Mal vergrössern und deshalb auch keines genauen Bewegungsapparates bedürfen, wodurch das Object der Linse mehr oder weniger genähert wird.

Einfache Mikroskope im engeren Sinne sind jene Instrumente, bei denen man nicht blos Linsen oder Linsensysteme von schwacher Vergrösserung, wie bei den Lupen, sondern auch viel stärker vergrössernde benutzen kann, weshalb ein besonderer Objecttisch und ein darunter befindlicher Spiegel für durchfallendes Licht nöthig ist, sowie eine passende Bewegungseinrichtung, um die richtige Entfernung zwichen Object und Linse zu ermitteln.

Die Lupen sowohl als die einfachen Mikroskope können auf sehr verschiedene Art eingerichtet sein, entsprechend dem Zwecke, wofür das Instrument bestimmt ist, und es ist auch sehr schwierig, wenn nicht vielleicht geradezu unmöglich, ein solches Instrument dergestalt einzurichten, dass es allen Anforderungen entspricht. In der Regel muss der eine Vortheil mehr oder weniger aufgeopfert werden, um einen anderen desto eher zu erreichen.

Was zuvörderst die für Lupen bestimmten Linsen betrifft, so folgt aus dem früher (I. §. 48 und folgende) Mitgetheilten, dass die am meisten gebräuchlichen Linsen, nämlich die biconvexen mit gleicher Krümmung beider Flächen, als die schlechtesten zu betrachten sind, und zwar wegen ihrer starken sphärischen Aberration. Viel besser ist eine Linse von der besten Form, wo sich die Krümmungen wie 1 : 6 zu einander verhalten. Aber fast gleich gut ist eine planconvexe Linse, die sich begreiflicher Weise auch leichter herstellen lässt, deshalb wohlfeiler ist, und ausserdem noch einen anderen Vorzug hat. Kehrt man ihre gewölbte Fläche dem Auge zu, so dass die gerade Fläche dem Objecte entspricht, dann ist die Aberration am kleinsten; wird sie umgekehrt gehalten, dann ist das Gesichtsfeld weit grösser, es ist aber auch die Aberration am grössten. Die letztere Stellung passt daher, wenn man sich eine allgemeine Uebersicht von einem Objecte verschaffen will, die erstere dagegen eignet sich besser zur genaueren Erforschung der Einzelnheiten, wenn z. B. Zergliederungen vorgenommen werden.

Wo es blos darauf ankommt, die Objecte in einem ziemlich grossen Gesichtsfelde scharf zu sehen, da sind auch die Coddington'schen Lupen oder die Vogelaugenlinsen (S. 58) ganz brauchbar. Zu Zergliederungen passen sie jedoch nicht, weil das Object der Glasoberfläche viel zu nahe kommt, und das Nämliche gilt auch von den Cylinderlupen. Diese wie die Coddington'schen Lupen lassen sich aber gut benutzen, um

Objecte unter Wasser zu untersuchen, da sie ohne Nachtheil in dieses getaucht werden können.

Die Lupen brauchen aber nicht immer blos eine einzige Linse zu enthalten; sie können auch aus zwei oder drei Linsen bestehen, wo sie dann die mehrfach erwähnten Vorzüge der Doublets und Triplets besitzen können. Meistens zeigt sich jedoch deutlich, dass die Optiker dabei nur im Auge gehabt haben, eine möglichst grosse Anzahl Linsen von ungleichem Vergrösserungsvermögen in einem kleinen Raume zu vereinigen, ohne darauf Bedacht zu nehmen, ihre Abstände und Krümmungen so zu reguliren, dass eine Linse die andere gehörig unterstützt, um dadurch die Aberrationen zu verbessern. Man trifft auch wohl Lupen mit zwei planconvexen Gläsern, die übereinander gebracht werden können, aber nur so, dass die platten Seiten beider Linsen einander zugekehrt sind, diese sich also in der möglichst schlechten Stellung gegen einander befinden, während doch bei solcher Stellung beider Linsen, wo die eine mit ihrer gewölbten Fläche der geraden Fläche der anderen zugekehrt ist, oder wo sie beide mit ihren convexen Flächen einander zugekehrt sind, bei gleicher Vergrösserung ein weit schärferes, deutlicheres Bild entstehen würde. Noch schärfer und deutlicher wird aber dieses Bild sein, wenn die beiden Linsen nach den für Doublets im Allgemeinen aufgestellten Regeln (S. 65 u. folg.) mit einander verbunden werden und dabei zugleich die gehörige Entfernung beider Linsen von einander ins Auge gefasst wird wie bei der Fraunhofer'schen Lupe, die in Fig. 40 im Durchschnitte dargestellt ist.

Fig. 40.



Fraunhofer'sches Doublet.

Für die meisten praktischen Zwecke, wozu man Lupen benutzt und wo nur eine schwache Vergrösserung erfordert zu werden pflegt, sind planconvexe Linsen ganz ausreichend. Will man aber eine Lupe, die noch mehr von beiderlei Aberrationen befreit ist, dann verdienen die mit achromatischen Linsen versehenen Lupen den Vorzug, die zuerst von Plössl angefertigt wurden, und die man jetzt bei den meisten mikroskopischen Instrumentenmachern bekommt. Käme es besonders darauf an, ein ansehnlich grosses Gesichtsfeld zu haben, dann ständen Herschel's periskopisches Doublet (Fig. 32) und die Lupe mit cylindrischen Flächen (Fig. 29) oben an.

Die Art und Weise, wie eine Linse oder eine Vereinigung von Lin- 31
sen zu einer Lupe gefasst wird, ist keineswegs gleichgültig; es kommt mit darauf an, welche Bestimmung die Lupe hat. Soll ein grosser Theil des Objectes auf einmal übersehen werden, dann darf die Hülse, welche die Linse umgiebt, wenig oder gar nicht über diese hervorragen, damit das Auge dicht an die Linse gebracht werden kann. Sollen dagegen hauptsächlich die in der Mitte des Gesichtsfeldes liegenden Objecte oder

Digitized by Google

Theile desselben genau gesehen werden, dann ist es besser, wenn, wie in Fig. 40, die Linse oder das Linsensystem an den Grund einer kurzen Kapsel kommt, deren Deckel mit einer Oeffnung für das Auge versehen ist.

Für Sacklupen ist die gewöhnlichste und gewiss auch zumeist empfehlenswerthe Form jene, wie in Fig. 41, die aber noch auf verschiedene Art modificirt werden kann, und wo 1, 2, 3, 4 oder selbst noch mehr Linsen angebracht sein können. Eine solche Sacklupe oder Taschenlupe gehört zu den nützlichsten, ja zu den unentbehrlichen Instrumenten jedes Naturforschers, und deshalb wird es nicht am unrechten Orte sein, wenn ich hier etwas über ihre beste Einrichtung angebe, zumal die Erfahrung lehrt, dass die so ganz einfachen Principien, auf denen die Zusammensetzung dieses kleinen Apparates beruht, gleichwohl von Vielen nicht verstanden oder doch nicht in Anwendung gebracht werden. Ohne indessen das bereits Besprochene über die verschiedenen Formen der Linsen und deren hier zu wählende Combinationen zu wiederholen, will ich lieber als Muster die Maasse und die Brennweiten der Linsen einer Sacklupe angeben, die, wenn auch nicht allen, so doch den meisten Zwecken, wozu ein solches Instrument benutzt wird, vollkommen genügt.

Fig. 41.

Taschenlupe.

Die beiden Linsen sollen planconvex sein und so stehen, dass, wenn sie zusammen benutzt werden, die Convexität der kleineren, am stärksten vergrössernden Linse der geraden Fläche der anderen Linse zugekehrt ist. Die schwächere Linse soll 50 Millimeter Brennweite und eine Oeffnung von 25 Millimeter haben; sie vergrössert dann 6 Mal im Durchmesser. Die stärkere Linse kann 15 Millimeter Oeffnung und 25 Millimeter Brennweite haben, wo sie dann 11 Mal vergrössert. Werden diese beiden Linsen so gefasst, dass ihre optischen Mittelpunkte, wenn sie übereinander sich befinden, 5 Millimeter von einander abstehen, dann hat die Combination 18 Millimeter Brennweite und sie vergrössert 15 Mal. Wünscht man übrigens für einen bestimmten Zweck schwächere oder stärkere Combinationen, so lassen sich die Brennweiten der erforderlichen Linsen nach den früher (I. §. 111, 112, 124) entwickelten Gesetzen berechnen. Das in Fig. 41 bei *a* abgebildete Diaphragma kommt, wenn die Lupe als Doublet gebraucht wird, zwischen die beiden Linsen: die Oeffnung kann für die oben beschriebenen Linsen 5 Millimeter im Durchmesser haben.

Ob zur übrigen Fassung der Lupe Metall, Schildpatt, Elfenbein oder Horn genommen wird, das ist ziemlich gleichgültig. Beim Ankaufe

Digitized by Google

einer Lupe muss aber noch auf zwei Pnnkte geachtet werden, einmal nämlich, ob die Linsen so über einander gebracht werden können, dass ihre optischen Axen zusammenfallen, und zweitens, ob die Linsen in ihren Hülsen gehörig befestigt sind. Bei vielen im Handel vorkommenden Sacklupen, die eine hörnerne Hülse haben, werden die Linsen ebenfalls dnrch Hornringe gehalten, die in die Oeffnung eingeleimt sind. Trägt man ein solches Instrument in der Tasche, so tritt in Folge der Hautausdünstung und wegen der Hygroskopicität des Horns und des Leims alsbald der Fall ein, dass der Ring locker wird und die Linse herausfällt. Elfenbeinringe eignen sich besser dazn; am besten aber sind Metallringe, aussen mit einem Schraubendraht versehen, der in die Oeffnnng eingeschranbt werden kann.

Hier ist auch der Ort, von der Brücke'schen Lupe zu reden, die 32
ihr Erfinder nach einem von ihm selbst zusammengesetzten Apparate beschrieben hat (*Sitzungsberichte der K. K. Akad. zu Wien.* 1851. VI. S. 554). Sie beruht auf dem Principe, dass, wenn eine concave Linse in verschiedenen Abständen über eine convexe Linse oder ein Linsensystem gebracht wird, die zu erzielende Vergrösserung innerhalb gewisser Grenzen nach Willkür erhöht werden kann.

Offenbar ist es Brücke unbekannt geblieben, dass Chevalier (*Die Mikroskope* u. s. w. S. 38) dieses Princip schon vor vielen Jahren in Anwendung brachte, und dass er eine solche Einrichtung, bestehend aus einer achromatischen concaven Linse und einem Doublet, nicht blos beschrieben, sondern anch, ganz gleich wie Brücke, als besonders passend für die Untersuchnng der Augen empfohlen hat.

Wie dem auch sei, Brücke hat seine Lnpe aus den zwei achromatischen Linsen eines aplanatischen zu einem Plössl'schen Mikroskope gehörigen Oculares und aus einem gowöhnlichen concaven Glase eines Operngnckers zusammengesetzt, die durch ein Rohr von 9 Centimeter Länge und 4 Centimeter Durchmesser verbunden sind. Er bekam so für 8 Par. Zoll Sehweite eine Vergrösserung von 6,6 Mal und das Auge blieb 16,5 Centimeter von dem zn untersuchenden Gegenstande entfernt. Der Durchmesser des Gesichtsfeldes betrug 14 Millimeter.

Später hat Nachet Lupen gefertigt, welche ziemlich mit den Brücke'schen übereinstimmen. Es sind zwei in einander verschiebbare Röhren, wie bei einem gewöhnlichen kleinen Operngucker. Vorn befindet sich an dem weiteren Rohre ein Doublet aus zwei planconvexen Linsen von 24 Millimeter Durchmesser, deren convexe Flächen einander zugekehrt sind und deren gemeinschaftliche Brennweite 50 Millimeter beträgt. An dem entgegengesetzten Ende der engeren Röhre befindet sich eine biconcave (nicht achromatische) Linse. Beide sind 4,4 Centimeter von einander entfernt, wenn die Röhren zusammengeschoben sind, dagegen 6,7

Digitized by Google

Centimeter, wenn die innere Röhre ganz ausgezogen ist. Der Abstand des Objectes von der Vorderfläche des Doublets beträgt 7,6 Centimeter. Ist die concave Linse am meisten genähert, dann beträgt die Vergrösserung das 5,6fache für 25 Centimeter, der Durchmesser des Gesichtsfeldes ist 14 Millimeter und das Auge ist 14,1 Centimeter vom Objecte abstehend. Ist dagegen das innere Rohr ganz ausgezogen, dann hat man eine neunmalige Vergrösserung, das Gesichtsfeld hat 8 Millimeter Durchmesser und der Abstand des Auges beträgt 16,2 Centimeter.

Aus diesen Daten kann man sich über die praktische Brauchbarkeit dieses kleinen Instrumentes ein Urtheil bilden. In Fällen, wo man nur einen kleinen Theil eines Objectes auf einmal zu übersehen braucht und wo es zugleich recht wünschenswerth ist, das Auge wie die Lupe in gehöriger Entfernung davon zu haben, z. B. zum Untersuchen von Augen, von Exanthemen, verdient dasselbe vor einer gewöhnlichen gleich stark vergrössernden Lupe den Vorzug, und Brücke's Verdienst ist es, neuerdings darauf aufmerksam gemacht zu haben. Wo man jedoch unter der Lupe arbeiten muss, wie bei anatomischen Untersuchungen, da bringt dieses Instrument wenig Vortheil; denn es wird der kleine Durchmesser des Gesichtsfeldes nicht durch die grössere Entfernung des Objectes aufgewogen, die ja auch bei einfachen gleich stark vergrössernden Lupen immer noch gross genug ist, dass man ohne Mühe darunter arbeiten kann.

33 Wenn die Lupe zu Zergliederungen oder zu anderen feinen Handarbeiten benutzt wird, so muss sie an einem passenden Gestelle befestigt sein, dass die Linse in gehöriger Entfernung vom Objecte festgestellt werden kann. Man hat mehrfache derartige Gestelle.

Der weiter oben beschriebene Lupenträger Joblot's (Fig. 17, S. 52), der späterhin von Trembley etwas modificirt wurde, und den Lyonet (Fig. 20) mit einem besonderen Objecttische und einem darunter befindlichen Spiegel versah, ist gewiss derjenige, welcher am leichtesten das Vergrösserungsglas nach den meisten Richtungen zu bewegen gestattet, da er nach allen Seiten beweglich ist. Aber gerade in dieser grossen Beweglichkeit liegt der Grund, warum ein solcher Lupenträger bei vielfachem Gebrauche bald unbrauchbar wird, da die Kugelgelenke sich abnutzen und schlottern.

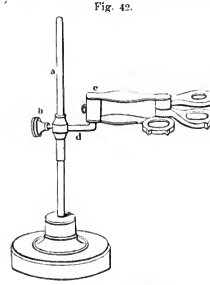
Besser, wenngleich in der Anwendung beschränkter, sind deshalb andere Lupenträger, von denen ich noch ein Paar beschreiben will, die sich durch ihre Zweckmässigkeit empfehlen.

Sehr einfach ist die Einrichtung, welche nach Quekett von Lister angegeben und von Smith und Beck in London ausgeführt wurde (Fig. 42). Eine gewöhnliche Sacklupe hat am hintern Ende bei c eine vierseitige Oeffnung, in welche der vierseitige rechtwinkelig umgebogene

Digitized by Google

Stab *d* passt; dieser aber sitzt an einer kleinen Hülse, die an der Stange *a* auf- und abgleitet und mittelst der Klemmschraube *b* festgestellt werden kann. Das Fussgestell ist solides Messing. Uebrigens sind schon seit vielen Jahren Lupenträger in Gebrauch gewesen, die mehr oder weniger Aehnlichkeit mit dieser Einrichtung hatten.

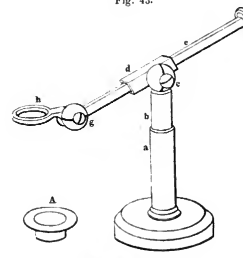
Fig. 42.



Lister's Lupenträger.

Noch brauchbarer, aber auch zusammengesetzter und theurer, ist der Lupenträger von Ross, welcher nach Quekett in Fig. 43 dargestellt ist. Er hat ein rundes $1^1/_2$ engl. Zoll messendes Fussstück mit einem kurzen Rohre *a*, worin ein zweites Rohr *b* sich auf- und niederschiebt. Dasselbe hat oben ein Schraubengelenk *c*, woran die vierseitige Hülse *d* befestigt ist. In dieser bewegt sich der vierseitige Stab *e*, der an dem einen Ende ein zweites Gelenk *g* und den Ring *h* hat, bestimmt für Linsen, welche in Röhrchen wie *A* gefasst sind. Durch das Gelenk *c* lässt sich der vierseitige Stab auf- und abbewegen, so dass die Linse in die gehörige Entfernung vom Objecte kommen kann, und da der Stab *e* in der Hülse *d* sich bewegt, so kann die Entfernung zwischen Linse und Stativ vergrössert oder vermindert werden. Das Gelenk *g* dient dazu, die Linse horizontal oder auch wohl unter einem Winkel zu stellen, unter

Fig. 43.

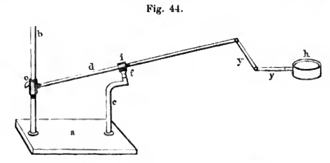


Lupenträger von Ross.

welchem man das Object zu sehen wünscht. Wird die Röhre *b* mehr oder weniger ausgezogen, so kann man die Entfernung zwischen dem Tische und dem gegliederten Arme abändern. In dem Preiscourante von Ross steht dieser Lupenträger mit zwei Linsen mit 1 Pfd. Sterlg. 14 Schilling.

Weit einfacher und fast eben so zweckmässig ist das Stativ von Strauss-Durckheim (*Traité pratique et théorique d'Anatomie comparée.* Par. 1842. I, p. 72), welches Fig. 44 dargestellt ist. Auf einer länglich-

Fig. 44.

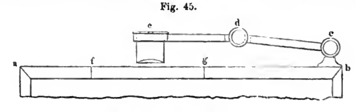


Lupenträger von Strauss-Durckheim.

vierseitigen Platte *a* aus Metall oder auch aus Holz, aber mit Blei eingelegt, stehen zwei messingene Stäbe *b* und *c* von ungleicher Länge. Der Arm *d*, der mit zwei Gelenken *yy* versehen ist, trägt die Lupe. Der ungegliederte Theil dieses Armes ist bei *e* durch ein Charnier mit einem Ringe verbunden, der sich am Stabe *b* bewegt, und bei *i* geht der Arm durch einen zweiten Ring, welcher durch ein Charnier *f* mit dem umgebogenen Arme *c* in Verbindung steht. Somit wirkt der Arm *d* als eine Art Hebel, und die Lupe kann in jede beliebige Höhe gebracht werden.

Auch die von Mohl (*Mikrographie*, S. 25) empfohlene Einrichtung (Fig. 45) ist in den meisten Beziehungen ganz gut, und man kann auch

Fig. 45.



Mohl's Lupenträger.

damit bei durchfallendem Lichte arbeiten. Es ist ein Kästchen *ab* von 15 bis 20 Centimeter Länge auf 8 Centimeter Breite und Höhe, welches an der einen dem Fenster zugekehrten Seite offen ist und einen flachen

Digitized by Google

Spiegel enthält, der sich um eine Axe dreht und durch einen rechterseits hervorragenden Knopf bewegt werden kann; oben aber, bei *fg*, hat dasselbe eine Oeffnung, die durch eine Glasplatte verschlossen werden kann. Ein mit zwei Charnieren *dc* versehener Arm, der an jenem Kästchen angeschraubt ist, trägt die Lupe *e*.

Für solche Zwecke passt auch der Tisch, den ich im zweiten Bande (Fig. 3) beschrieben habe, auf dem auch verschieden gestaltete Lupenträger mit beweglichem Fusse Platz finden können.

Ziemlich gross ist die Anzahl der Stative für einfache Mikroskope, 34
die man in neuerer Zeit ersonnen hat und die noch meistens durch die jetzt lebenden Optiker ausgeführt werden, wenngleich sie jetzt nicht mehr so wie vor einigen Jahren in Gebrauch sind, weil das einfache Mikroskop, seitdem das zusammengesetzte so bedeutende Verbesserungen erfuhr, viel an seinen früheren Vorzügen eingebüsst hat.

Ohne auf eine vollständige Aufzählung aller zum Theil ganz unbedeutenden Modificationen bei verschiedenen Optikern Anspruch zu machen, will ich hier mehrere einfache Mikroskope aus den bekanntesten Werkstätten beschreiben, besonders solche, die in der einen oder der anderen Hinsicht eine speciellere Berücksichtigung verdienen.

Wir haben bereits gesehen, dass in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts das einfache Mikroskop durch Cuff eine senkrecht stehende Stange mit einem daran befestigten Objecttische und einem beweglichen Linsenträger bekam. Eine im Wesentlichen ganz damit übereinstimmende Einrichtung sehen wir noch heutiges Tages an den Mikroskopen von Ch. Chevalier, an Raspail's von Deleuil gefertigtem Mikroskope, an den Instrumenten von Smith und Beck, an Pritchard's Taschenmikroskope, an einem einfachen Mikroskope von Ross, an jenem von Körner, von Plössl und vielen Anderen. Manche indessen haben auch ihren Mikroskopstativen eine davon mehr oder weniger abweichende Form gegeben, und dadurch sind sie zwar, namentlich für starke Linsen und Linsensysteme, brauchbarer geworden, zugleich aber auch zusammengesetzter und theurer. Andere suchten mehr nach einer Einrichtung, um sie zur Zergliederung kleiner Objecte brauchbar zu machen. Wieder Andere sind mehr auf die Erfindung ganz kleiner und möglichst compendiöser Sative ausgegangen, damit man ein stark vergrösserndes Mikroskop überall bequem mit sich herumtragen könne.

Das frühere einfache Mikroskop von Charles Chevalier in Paris ist Fig. 46 (a.f.S.) dargestellt. Als Fuss dient das Kästchen *x*, in welches das Mikroskop kommt, wenn es nicht gebraucht wird. Darauf wird die hohle vierseitige Stange *t* geschraubt, und in dieser steckt eine andere vierseitige Stange *g*, die hinten sägeförmig eingeschnitten ist und durch ein gezahntes Rad, wozu der Knopf *r* gehört, auf und nieder bewegt werden kann. Oben hat die Stange *g* einen rechtwinkelig damit verbundenen

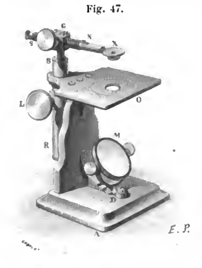
Arm *a*, an dessen Ende sich ein Ring befindet für die verschiedenen

Fig. 46.

Eintaches Mikroskop von Ch. Chevalier.

Doublets, die zu diesem Mikroskope gehören. Die vierseitige Platte *p*, die in der einen Richtung 8, in der anderen 6 Centimeter misst, dient als Objecttisch: sie hat in der Mitte eine runde Oeffnung, unter welche die drehbare Scheibe *n* mit ungleich grossen Oeffnungen kommt, die als Diaphragma dient, um das Licht auf entsprechende Weise zu mässigen. Der Spiegel *m* ist auf der einen Seite concav, auf der anderen eben, und lässt sich durch die vierseitige Hülse *b* an *t* auf- und abschieben. Die Gesammthöhe des Stativs ist 14 Centimeter. Von den zugehörigen Doublets (s. S. 65) zeichnen sich namentlich die weniger stark vergrössernden, die am meisten und vortheilhaftesten benutzt werden, durch vorzügliche Nettigkeit und Schärfe des Bildes aus. — In Chevalier's Preiscourant von 1842 stand dieses Mikroskop mit zwei Doublets für 70 Francs. Das einzelne Doublet von 10 Linien (11malige Vergrösserung) bis zu einer Linie (110malige Vergrösserung) Brennweite kostet 10 Francs, ein solches von einer halben Linie (220malige Vergrösserung) 15 Francs, und eins von einer viertel Linie (440malige Vergrösserung) 20 Francs.

Fig. 47.



Einfaches Mikroskop von Arthur Chevalier.

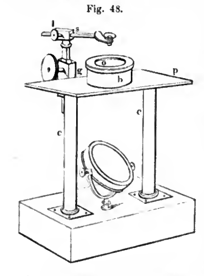
Der Preis des Mikroskopes mit einem vollständigen Satze von 7 Doublets und einer achromatischen Concavlinse war 150 Francs.

Der Sohn Arthur Chevalier liefert ein ähnliches Mikroskop noch um den gleichen Preis, und hat noch ein stärkeres Doublet von $^1/_5$ Linie Brennweite (500malige Vergrösserung) zugefügt, das 25 Francs kostet. Er macht auch noch andere etwas mehr zusammengesetzte Stative, die natürlich auch theurer sind. In Fig. 47 ist ein solches einfaches Mikroskop dargestellt, dessen die Linse tragender Arm durch einen Trieb vorwärts und rückwärts, so wie nach rechts und links bewegt werden kann.

Digitized by Google

Ch. Chevalier hat auch eine Beschreibung und Abbildung des anatomischen Mikroskopes von Lebaillif (Fig. 48) gegeben. Hier ruht ein breiter vierseitiger Objecttisch *p* auf zwei soliden runden Säulen *cc*. An diesem Ojecttische ist das Stativ *g* befestigt. Die Bewegung erfolgt in der nämlichen Weise, wie an des älteren Chevalier Mikroskope; nur lässt sich der Linsenarm *s* durch ein gezahntes Rad in der Hülse *l* hin- und herschieben. In die runde Oeffnung des Objecttisches kommt die mit einem Glasdeckel *o* bedeckte Trommel *b*, die sich auf- und niederschieben, also höher und niedriger stellen lässt.

Fig. 48.



Lebaillif's anatomisches Mikroskop.

Für den genannten Zweck, nämlich um Zergliederungen unter der Linse vorzunehmen, ist dieses Mikroskop gewiss ganz zweckmässig eingerichtet, im Besonderen ist der grosse Objecttisch anerkennenswerth, der sich auf zwei Säulen stützt und dadurch feststeht. Die Hände finden einen Stützpunkt auf dem Objecttische zu beiden Seiten der Trommel, auf welche das zu zergliedernde Object zu liegen kommt. Die Beweglichkeit des Linsenarms *s* dürfte weniger nöthig sein; denn das Object wird wohl immer auf einem Glastäfelchen oder in einem kleinen Troge mit Flüssigkeit liegen, und diese lassen sich mindestens eben so leicht verschieben oder unter die Linse bringen. Dazu kommt noch, dass sich auch die Beleuchtung verändert, wenn die Linse über einen anderen Theil des Objecttisches zu liegen kommt.

Ferner liefert Nachet in Paris einfache, mit Doublets versehene Mikroskope. Sehr zweckmässig ist jenes eingerichtet, welches er nach der Angabe von Cosson ausgeführt hat. Dasselbe wird durch keinen hölzernen Fuss getragen, sondern der lange und deshalb zum Aufstützen der Hände sehr geeignete Objecttisch ruht auf drei kurzen Messingsäulchen. Auch lässt sich, wenn man will, daraus ein zusammengesetztes Mikroskop herstellen. Blos mit drei Doublets versehen, kostet es 50 Francs. Kommen zwei Objectivsysteme und ein Ocularrohr hinzu, so steigt der Preis auf 120 Francs. Um diesen verhältnismässig geringen Preis hat man ein für die meisten Untersuchungen ausreichendes Instrument.

Auch liefert Nachet einfache Mikroskope, die ausdrücklich für Zergliederungen bestimmt sind. Das in Fig. 49 (a. f. S.) dargestellte Instru-

Digitized by Google

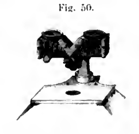
ment hat zu beiden Seiten des breiten vierseitigen Objecttisches eine schief geneigte Platte mit horizontal umgebogenem Rande, zum Auflegen

Fig. 49.



Nachet's Dissectionsmikroskop.

Fig. 50.



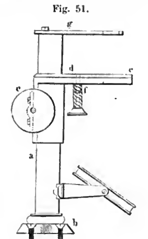
Binoculärapparat für das einfache Nachet'sche Mikroskop.

der Hände; es kostet mit 2 Doublets 60 Francs. Zu dem nämlichen Mikroskope liefert Nachet auch einen Binoculärapparat (Fig. 50), mit zwei dazu gehörigen Doublets, ebenfalls um 60 Francs.

35 Das einfache Mikroskop von Simon Plössl in Wien ist Fig. 51 dargestellt. Es hat eine dreiseitige Stange von 10 Centimeter Höhe, an deren hinterer Seite die Säge für den Trieb *c* angebracht ist. Zusammen mit dem kleinen Kasten, auf dessen Deckel der Ring *b* zur Aufnahme der Stange des Mikroskopes geschraubt ist, hat das Mikroskop 15 Centimeter Höhe. Der Objecttisch *d* wird durch den Trieb nach der Linse hin bewegt; er ist vierseitig, 3 Centimeter breit und hat eine Oeffnung von 2 Centimetern. Auf seiner oberen Fläche befindet sich eine hufeisenförmige Klemmfeder *e*, welche durch die Spiralfeder *f* nach unten gezogen wird. Der für die Linsen bestimmte Arm *g* kann in horizontaler Richtung um seinen Befestigungspunkt an der Spitze der Mikroskopstange gedreht werden. Zur Beleuchtung dient ein Hohlspiegel von 2,5 Centimeter Durchmesser. An diesem Mikroskope, das ich nicht selbst kenne, rühmt Mohl die Einfachheit; tadelnswerth findet er aber daran, dass der Objecttisch sich nach der Linse zu bewegt und zu klein ist, auch dass eine Einrichtung zur Modificirung der Beleuchtung fehlt. Ausserdem erachtet er die Klemmfeder und die horizontale Drehung des Linsenarmes für überflüssig. Auf Plössl's Preiscourant steht dieses Mikroskop mit 3 Doublets von 12- bis 100facher Vergrösserung mit 30 Conventions-Gulden, mit 6 Doublets von 12- bis 300facher Vergrösserung mit 56 Conventions-Gulden.

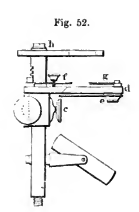
Das einfache Mikroskop von Körner in Jena (Fig. 52), wie ich es bei Mohl abgebildet finde, stimmt mit dem vorhergehenden ziemlich über-

Fig. 51.



Einfaches Mikroskop von Plössl.

Fig. 52.



Einfaches Mikroskop von Körner.

ein. Die vierseitige Stange ist 8 Centimeter hoch und hat auf der hinteren Seite die Säge für den Trieb. Der Objecttisch *d* ist vierseitig, gut 3 Centimeter breit, und kann durch die Klemmschraube *c* an der Stange festgestellt werden. Der Linsenarm *h* gestattet eine horizontale Drehung. Zur Beleuchtung dient ein Hohlspiegel von 2,5 Centimeter Durchmesser, und unter dem Objecttische befindet sich noch ein drehbares Diaphragma *e* mit zwei Oeffnungen. Auf dem Objecttische selbst sind noch zwei Klemmfedern *f* und *g* angebracht, von denen die bei *f* durch eine Schraube in Spannung versetzt werden kann. Dieses Mikroskop wurde von Schleiden (*Grundzüge der wissenschaftlichen Botanik.* 2. Aufl. 1845. I, S. 97) sehr gerühmt; nach seiner Beschreibung gehören dazu 4 Doublets, die bei einer 15- bis 120fachen Vergrösserung helle und schöne Bilder geben. Dagegen fand Mohl (*Mikrographie* S. 57) die stärkeren Doublets sehr mittelmässig, und obgleich ihm die ganze Einrichtung nicht unzweckmässig vorkommt, so findet er doch den beweglichen Objecttisch und die Klemmfedern auf demselben weniger passend. Uebrigens kostete ein solches Mikroskop nur 17 Thaler.

Die einfachen Mikroskope von Carl Zeiss in Jena wurden von Schleiden (*Augsb. Allg. Zeitung* 1847. Nr. 289 und 297. *Grundzüge der Botanik.* 3. Aufl. I, S. 98) und später auch von Schacht (*Das Mikroskop und seine Anwendung*, 1851. S. 22. *Botan. Zeitung* 1852. S. 598) angepriesen; namentlich sollen sie zum Präpariren auf dem Objecttische sehr

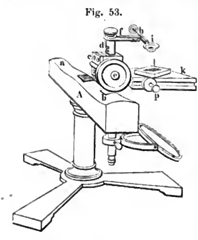
Digitized by Google

geeignet sein. Nach dem neuesten Preiscourante gehören dazu 4 Doublets mit 15-, 30-, 60- bis 120maliger Vergrösserung. Das vollständige Mikroskop kostet 26 Thaler, mit den drei schwächeren Vergrösserungen aber nur 18 Thaler. Das nämliche Instrument mit kleinerem Objecttische und den drei schwächeren Vergrösserungen, aber mit einem besonderen Präparirfusse versehen, liefert **Zeiss** für 13 Thaler. Der Präparirfuss allein kostet 20 Groschen. Die genannten Doublets kosten **einzeln** 2, 2, 3 und 3 Thaler, das Triplet aber 6 Thaler. — Neuerdings liefert **Zeiss** auch um 3 Thaler ein sogenanntes **Trichinenmikroskop**. Es ist einfach eine stärkere Doubletlupe in einer Scheibe, die mit einem Handgriffe versehen ist. Auf der einen Seite der Scheibe befindet sich vor der Linse ein kurzes Rohr mit der Doubletlinse, auf der anderen Seite der Scheibe findet sich eine Klemmfeder zur Fixirung des Objectglases.

36 Die einfachen Mikroskope von **Pritchard** in London haben sehr verschiedenartige Gestelle, je nach dem besonderen Zwecke, für den sie bestimmt sind.

Sein Taschenmikroskop (*Microscopic Cabinet*, p. 243) stimmt in der Hauptsache mit den bisher beschriebenen Instrumenten überein, zeichnet sich aber durch die compendiöse Form aus, da es im Ganzen noch nicht 6 Centimeter hoch ist, und man kann es bequem bei sich führen; zu Zergliederungen indessen ist es nicht passend. Dafür ist das Fig. 53 abgebildete Mikroskop ausdrücklich bestimmt. Auf einem schweren Dreifusse steht eine feste runde Messingsäule, womit die übrigen Theile des Gestells verbunden sind. *A* ist ein Holzkloben, der bei *a* und *b* etwas ausgehöhlt ist, um die Arme aufzunehmen. In dem daran sitzenden vierseitigen Stücke *c* bewegt sich der gezahnte Stab *d* auf und nieder, wenn der Knopf *e* gedreht wird. Der Arm *f* lässt sich herumdrehen; am Ende *h* hat er ein Kugelgelenk, wodurch der Linsenträger *i* nach allen Richtungen beweglich wird. Der vierseitige Objecttisch *k* hat einen Schlitten, dessen beide Knöpfe bei *p* hervorragen, und ein vierseitiges Kästchen *l* mit Glasboden, wohinein die zum Zergliedern bestimmten Objecte kommen.

Fig. 53.



Dissectionsmikroskop von **Pritchard**.

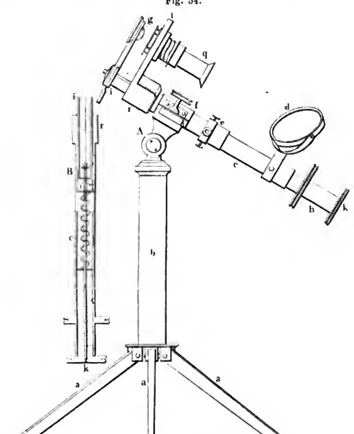
Es lässt sich nicht leugnen, dass dieser Apparat in vielen Hinsichten

Digitized by Google

seinem Zwecke entspricht; doch ist er auch ohne Noth sehr complicirt und dadurch theuer. Ein hölzerner Kloben zum Auflegen der Arme ist freilich besser als eine Unterlage von Metall, weil Holz ein schlechterer Wärmeleiter ist. Dadurch aber, dass diese Holzmasse am Mikroskope selbst angebracht ist, wird dasselbe sehr schwer und erfordert deshalb eine ungewöhnliche Festigkeit, obwohl das Gleiche bei jedem anderen Mikroskope dadurch erreicht werden kann, dass man seitlich Blöcke von passender Höhe und Form hinlegt.

Ein drittes einfaches Mikroskop von Pritchard ist Fig. 54 darge-

Fig. 54.



Einfaches Mikroskop von Pritchard.

stellt. Bei *A* sieht man das ganze Instrument in geneigter Stellung, es kann aber auch vertical oder horizontal stehen. Die runde Säule *b* ruht

Digitized by Google

auf drei Füssen *a a a*. Oben ist mit dieser Säule durch ein Charniergelenk die Hülse *f* verbunden, worin der eigentliche Mikroskopträger (er besteht aus Röhren) mittelst einer Klemmschraube festgestellt wird. In dem Rohre *c* bewegt sich ein Rohr *h*, durch eine Schraube verbunden, welche durch sie hindurch bis zum dreiseitigen Stabe oder Rohre *i* geht, dem Träger des Linsenarms, der die Linse bei *g* aufnimmt. Die Linse wird dem Objecte zunächst genähert durch Auf- und Niedergleiten des Rohres *h*, und eine genaue Einstellung wird durchs Umdrehen des geränderten Knopfes *k* erreicht. Der Objecttisch *l* ist an das dreiseitige Stück *r* befestigt. Zum Festhalten der Objecttäfelchen und Schieber dient ein Spiralfederapparat, der durch Bajoneteinlenkung an dem Objecttische befestigt wird; in denselben kann man Diapbragmen mit verschiedenen Oeffnungen bringen. In der darunter befindlichen Röhre *q* ist eine Beleuchtungslinse enthalten. Der Spiegel *d* lässt sich an dem Rohre *c* höher und niedriger stellen. Bei *e* kann auch noch eine Beleuchtungslinse angebracht werden, die in der Figur nicht angegeben ist.

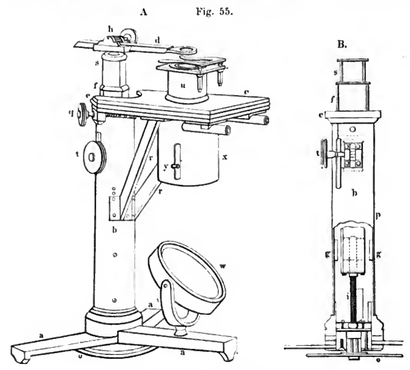
In *B* ist ein Durchschnitt des Mikroskopträgers dargestellt, um die mechanische Einrichtung der Bewegung besser übersehen zu können. In dem hohlen dreiseitigen Stücke *r*, welches oben aufgeschraubt ist, befindet sich das dreiseitige Rohr *i*, an welchem der Linsenarm befestigt ist. Unten in diesem Rohre sieht man ein kleines Stück *i'*, worin sich eine freie Schraube *s* mittelst des geränderten Knopfes *k*, womit sie verbunden ist, herumdreht. Die in der Abbildung sichtbare Spiralfeder drückt gegen das Stück *i'* am Boden des dreiseitigen Rohres, und ihr anderes Ende stösst an eine in dem Rohre *h* befindliche Scheidewand. Wird nun die Schraube abwärts gedreht, so folgt ihr das Rohr *i* und somit auch der Linsenarm; das Umgekehrte aber findet statt, wenn sich die Schraube in entgegengesetzter Richtung bewegt. Die Spiralfeder hat blos den Zweck, die Bewegung zu reguliren, namentlich den sogenannten todten Gang der Schraube zu beseitigen.

Dieses Instrument hat also eine doppelte Bewegung, um die Linse und das Object einander zu nähern, eine gröbere und eine feinere, und in dieser Beziehung ist es besser eingerichtet, als die bisher beschriebenen Gestelle für sehr stark vergrössernde Linsen, Doublets u. s. w.

37 Eine noch vollkommenere Einrichtung hat das einfache Mikroskop (Fig. 55), welches Andreas Ross im Jahre 1831 zuerst für W. Valentine verfertigte. Bei *A* sieht man es von der Seite, bei *B* von hinten und zum Theil geöffnet, um die mechanische Einrichtung deutlicher zur Ansicht zu bringen. Auf dem Dreifusse *a a a* steht eine feste hohle Säule *b*, an welche der Objecttisch *c* befestigt ist. Doch wird dieser ausserdem noch durch die beiden schiefen Stücke *r r* getragen. Oben an der Säule ist durch drei Schrauben ein Capital *e* befestigt mit einer

dreiseitigen Höhle in der Mitte, worin sich das dreiseitige Rohr *f* befindet, dessen unteres Ende durch ein ähnlich gestaltetes Rohr (*B. gg*) im Inneren der Säule *b* tritt. Dieses dreiseitige Rohr bewegt sich mittelst der feststehenden Schraube *i*, welche mit dem geränderten Knopfe *o* unterhalb der Säule in Verbindung steht, auf und nieder. Dadurch wird die feine Einstellung erzielt. An der Spitze und am Boden des dreiseitigen Rohres, bei *g* und nahe bei *p*, befinden sich zwei Stücke mit dreiseitiger Aushöhlung, um den dreiseitigen Stab *s* aufzunehmen, der durch einen Trieb und den geränderten Knopf *t* auf und nieder bewegt wird; dadurch wird aber die gröbere Einstellung bewirkt, und es kann die

A Fig. 55.



Einfaches Mikroskop von Ross.

Linse dadurch bis auf 7,5 Centimeter vom Objecte entfernt werden. Die Schraube zur feineren Bewegung und genauen Einstellung hat 50 Umgänge auf einen englischen Zoll. Der geränderte Knopf *o* aber ist nach Solly's Vorschlage in 100 Theile getheilt. Man kann daher die Auf- und Niederbewegung nach $^1/_{5000}$ des englischen Zolls bestimmen, und hat darin ein Mittel zur Hand, um die Dicke der unter der Linse befindlichen Objecte zu messen.

Digitized by Google

Der Arm *d*, welcher die Linse trägt, ist an die dreiseitige Stange *s* durch ein kegelförmiges Stück befestigt, auf dem er sich horizontal drehen kann, und der Arm selbst kann durch den Trieb bei *h* verlängert und verkürzt werden. Man kann somit die Linse über alle Punkte des Objecttisches bringen.

Der grosse Objecttisch *c* besteht aus drei Platten: die unterste ist an die Säule befestigt, die beiden anderen sind darauf beweglich mittelst zweier Schrauben, deren eine bei *q* sichtbar ist, während die andere hinter dem Objecttische versteckt bleibt. Durch diese beiden Schrauben wird der Objecttisch in zwei Richtungen, die rechtwinkelig auf einander stehen, bewegt. Auf der oberen von den drei Platten steht die Trommel *u* mit einer hufeisenförmigen federnden Lamelle, um die Objecttäfelchen damit zu befestigen.

Der Beleuchtungsapparat besteht erstens aus dem Spiegel *w*, der auf der einen Seite concav, auf der anderen eben ist, und zweitens aus der unter dem Objecttische angeschraubten Röhre *x*, worin sich eine Beleuchtungslinse befindet, die durch zwei nach aussen vorstehende Knöpfe (einer davon ist bei *y* sichtbar) höher und niedriger gestellt werden kann.

Soviel steht fest, dass kein anderes Stativ für das einfache Mikroskop so viele gute Eigenschaften in sich vereinigt, als das von Ross. Für den Zweck, wozu das einfache Mikroskop gegenwärtig am meisten benutzt wird, nämlich zu Zergliederungen, darf es freilich wohl als zu sehr zusammengesetzt erachtet werden. Das nämliche Gestell lässt sich aber auch mit geringen Modificationen für ein zusammengesetztes Mikroskop verwenden, wie es Ross gethan hat, und dabei kommen die verschiedenen Bewegungsmittel zu Statten, die an diesem Gestelle auf eine allerdings ganz entsprechende Weise angebracht worden sind.

Ross hat übrigens für das einfache Mikroskop auch noch einfachere Gestelle, die in der Hauptsache mit den bereits beschriebenen von Chevalier übereinstimmen.

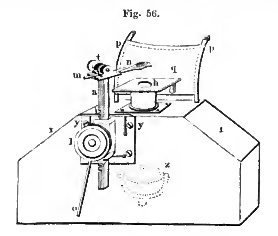
In seinem Preiscourante sind zwei Nummern aufgeführt. Das eine mit vier einfachen Linsen von 1 bis $^1/_{10}$ engl. Zoll Brennweite und einem Doublet von $^1/_{20}$ Zoll Brennweite kostet 4 Pfd. 14 Schill. 6 Pence. Ein ähnliches mit einem grösseren Objecttische zu Zergliederungen und mit besseren Bewegungsmitteln kostet 6 Pfd. 16 Schill. 6 Pence. Doublets von $^1/_{10}$ bis $^1/_{30}$ Zoll Brennweite kosten 15 Schill. bis 1 Pfd. 10 Schill.; ein Triplet von $^1/_{40}$ Zoll Brennweite 2 Pfd. 10 Schill.; einzelne Linsen von $^1/_4$ bis $^1/_{80}$ Zoll Brennweite 5 Schill. bis 1 Pfd. 10 Schill.

Ganz einfach, aber zweckmässig eingerichtet sind auch die einfachen Mikroskope von Smith und Beck; von den Chevalier'schen unterscheiden sie sich nur durch einen runden ringförmigen Objecttisch und eine dahin kommende Glasscheibe, wie im ursprünglichen Cuff'schen Mikro-

skope. Auch die von **Powell** haben eine solche Einrichtung, daher ich mich nicht bei ihnen aufhalte, so wenig als bei manchen anderen, z. B. den Taschenmikroskopen von **Carry**, von **Dollond** u. s. w., die sich in keiner irgend wesentlichen Beziehung von den bereits beschriebenen unterscheiden. Vom letzteren sei nur erwähnt, dass er die frühere **Leeuwenhoek**'sche Methode eingehalten hat, wonach die Linsen nicht in Röhrchen, sondern zwischen Täfelchen befestigt werden; und das verdient allerdings bei stark vergrössernden Linsen den Vorzug, weil das Gesichtsfeld grösser wird in Folge der grösseren Annäherung des Auges zur Linse. Diese Täfelchen sind 50 Millimeter lang und 12 Millimeter breit, und beim Gebrauche kommen sie in eine Rinne am oberen Ende der Mikroskopstange; es fehlt daher der gewöhnliche Linsenarm.

Hier darf die von **Slack** (*Transactions of the Society of Arts*, Vol. 49) 38
ersonnene Einrichtung nicht übergangen werden, die mir unter allen Dissectionsmikroskopen dem Zwecke am besten zu entsprechen scheint. Man sieht sie in Fig. 56 von hinten. Es gehört dazu ein hölzerner Kasten

Fig. 56.



Dissectionsmikroskop von **Slack**.

von 18 Centimeter Höhe und 10 Centimeter Breite. An der oberen Fläche sind die Theile *r r* geneigt, um die Arme darauf zu stützen; sie bilden Quadrate von 10 Centimeter, während der horizontale Theil dazwischen 15 Centimeter lang und 10 Centimeter breit ist. Am Boden dieses Kastens und zwar in der Mitte steht ein grosser runder Spiegel *z*, der auf die bei den Mikroskopen gebräuchliche Weise in einem Bügel aufgehängt ist. Gerade darüber hat der Kasten oben eine runde Oeffnung, in welche der Objecttisch *h* geschraubt wird; derselbe steht auf einem 2,5 Centime-

Digitized by Google

ter hohen Rohre, um welches er sich in horizontaler Richtung dreht, damit das Object in jegliche passende Stellung gebracht werden kann. Die Einrichtung für den Linsenträger und für dessen Annäherung zum Objecte befindet sich auf der Hinterfläche des Kastens. Eine senkrechte Stange *a* von 15 Centimeter Länge, die auf der einen Seite sägeförmig gezahnt ist, trägt den Linsenarm *mn*, und dieser lässt sich nicht nur horizontal herumdrehen, sondern auch durch den Trieb *t* verlängern und verkürzen. Das Auf- und Niederbewegen der Stange und des daran befestigten Linsenarmes geschieht durch ein Zahnrad, mit welchem der geränderte Knopf *l* in Verbindung steht, der 5 Centimeter Durchmesser hat und somit eine ziemlich genaue Einstellung gestattet, die übrigens noch genauer ausgeführt werden kann mittelst des Hebels *o*, der in eine Reihe von Höhlungen am Rande des Knopfes *l* passt. Diese ganze Partie steht mit einer Messingplatte *i* in Verbindung, die sich auf einer anderen an den Kasten angeschraubten Platte *y* bewegt. Sollen durchsichtige Objecte zergliedert werden, dann kommt der aus schwarzem Zeug bestehende Schirm *q* vor den Objecttisch, und wird mittelst zweier kleinen Stäbe *pp* befestigt, die etwas nach vorn umgebogen sind, damit sie den Kopf nicht behindern. Dieser Schirm gewährt einen doppelten Nutzen: er hält alles von aussen kommende Licht ab, ausgenommen jenes vom Spiegel reflectirte, und er schützt die Augen des Beobachters gegen das Kerzen- oder Lampenlicht, falls bei künstlichem Lichte gearbeitet wird.

Das Dissectionsmikroskop von Slack ist gewiss recht gut eingerichtet. Es ist aber klar, dass jeder, der ein gutes einfaches Mikroskop von einfacher Zusammensetzung hat, ohne grosse Mühe sich eine solche Einrichtung herstellen kann, da es durchaus nicht unerlässlich ist, dass alles ganz genau mit der obigen Beschreibung übereinstimmt. So kann z. B. die horizontale Drehung und das Hin- und Herbewegen des Linsenarmes ohne Nachtheil fehlen, ebenso wie das Drehen des Objecttisches um seine Axe. Auch lassen sich nach Umständen noch andere nicht gerade wesentliche Modificationen anbringen, die man unbedenklich jedem, der sich eine solche Einrichtung anschafft, überlassen kann. Deshalb verweise ich auch nur einfach auf die Beschreibung des Dissectionsmikroskopes von James Smith (*Quart. Journ of microscop. Sc.* 1861. N. Ser. I. p. 10), das nach Slack's Principien eingerichtet, dabei aber etwas compendiöser ist.

Auch ist hier noch das Taschen- und Dissectionsmikroskop von Quekett (Fig. 57) zu nennen, welches von Highley in London nach seiner Angabe hergestellt wurde, und woran alle Theile compendiös und zweckmässig eingerichtet sind. Bei *A* sieht man das Instrument, wenn es eben gebraucht werden soll; bei *B* sieht man es von der unteren Seite, wenn der Spiegel und die Linsen wieder in den für sie bestimmten Ausschnitten stecken; bei *C* endlich sieht man das Mikroskop, wenn seine beiden keilförmigen Seitentheile, auf denen die Platte ruht, zusammenge-

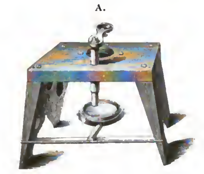
Digitized by Google

schlagen sind, so dass sie einander decken und ausserdem noch durch einen Kautschukring zusammengehalten werden. Ist das Mikroskop wie

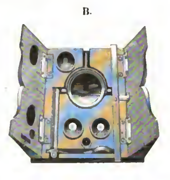
Fig. 57.

Quekett's Dissectionsmikroskop.

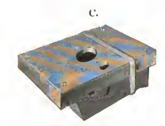
A.



B.



C.



bei *C* zusammengelegt, so beträgt seine gesammte Höhe $1\frac{1}{2}$ Engl. Zoll und es hat eine quadratische Oberfläche von $5\frac{1}{2}$ Zoll. Die Platte hat demnach noch Raum genug, um den vorderen Theil der Hände aufzulegen, wenn ein Gegenstand unter der Linse zergliedert wird. — Mit drei Linsen von 1 Zoll, $\frac{1}{2}$ Zoll und $\frac{1}{4}$ Zoll Brennweite liefert Highley dieses Mikroskop für $31\frac{1}{2}$ Schillinge. — Natürlich lassen sich auch Linsen und Doublets von kürzerer Brennweite dabei gebrauchen; allein für stärkere Vergrösserungen reicht wohl der Beleuchtungsapparat nicht aus.

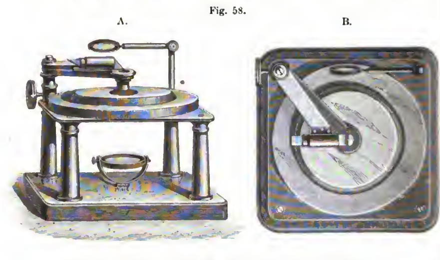
Endlich habe ich noch des einfachen, zugleich zum binoculären Gebrauche eingerichteten Mikroskopes von Richard Beck (*Quart. Journ.* 1864. *N. Ser.* XIII. *Transact.* p. 1) zu gedenken, welches in Fig. 58 (a. f. S.) dargestellt ist, und zwar bei *A* in seitlicher Ansicht, bei *B* von oben betrachtet. Das Stativ unterscheidet sich von den sonst gebräuchlichen hauptsächlich darin, dass der grosse Objecttisch auf vier Säulchen von 4 Zoll Höhe ruht, von denen eine zugleich den Linsenarm trägt und eine andere eine Beleuchtungslinse für auffallendes Licht. Die binoculäre Einrichtung ist die Wenham'sche für das zusammengesetzte Mikroskop: eine Linsenhälfte ist unbedeckt und lässt das halbe Strahlenbündel unverändert zum einen Auge gelangen, das andere halbe Strahlenbündel dagegen wird durch zwei rechtwinkelige Prismen reflectirt und zum anderen Auge geleitet. Diese zwei rechtwinkeligen Prismen sind an einer halbcylindrischen Röhre angebracht: das eine steht fest, das andere aber lässt

Digitized by Google

sich ein- und ausschieben, um die Harmonie mit der ungleichen Sehweite verschiedener Augen herstellen zu können. Beide sind aber mit einem

Fig. 58.

A. B.



Einfaches binoculäres Mikroskop von Richard Beck.

zweiten Arme verbunden, der sich genau über dem eigentlichen Linsenarme befindet, und wenn beide Augen gebraucht werden, dann muss das zur Rechten befindliche Prisma die eine Hälfte der Linse genau bedecken. Der zweite Arm stösst an, sobald diese Stellung erreicht ist, er lässt sich aber auch leicht zur Seite schieben, wenn man nur mit einem Auge durch die Linse sehen will. In der Beschreibung heisst es noch, die beiden Gesichtsfelder seien ungleich gross, und nur ein kleines kreisförmiges Stück sei stereoskopisch.

39 Ueberblicken wir nun noch einmal die Geschichte des einfachen Mikroskopes nach den vorliegenden Mittheilungen. Zuerst war dasselbe sehr unvollkommen, in optischer wie in mechanischer Beziehung. Eine 9 bis 10 Mal vergrössernde Linse in einem Röhrchen, an dessen Ende das Object gebracht wurde, ohne irgend ein Mittel zur Abänderung der Entfernung, bildete das vollständige Mikroskop. Etwas später fing man an, etwas stärkere Linsen herzustellen. Auch war man auf verschiedene Mittel bedacht, die Entfernung zwischen Object und Linse veränderlich zu machen; es wurden viele Einrichtungen dafür ersonnen, von denen manche allerdings den Scharfsinn ihrer Erfinder bezeugten, aber zugleich auch verriethen, auf welcher niedrigen Stufe die praktische Mechanik in jenen Tagen noch stand. Man ging nun darin weiter, dass man immer kleinere und kleinere Linsen schliff, und wo die Kunst hierin noch nicht ausreichte,

Digitized by Google

ersetzte man diese durch stark vergrössernde Glaskügelchen. Damit machte sich aber auch eine Verbesserung der Beleuchtungsweise nöthig, weil das Licht bei diesen starken Vergrösserungen zu schwach ausfiel. Man brachte deshalb eine Linse hinter das Object, um das Licht auf letzteres zu concentriren; auch dachten schon Manche an Mittel, um durch Diaphragmen mit verschiedenen Oeffnungen die Stärke des Lichtes gemäss den Umständen und nach der Natur der Objecte zu modificiren. Endlich wurde auch die Beleuchtung durch auffallendes Licht wesentlich verbessert durch Einführung concaver Metallspiegelchen, wodurch das Licht auf das Object reflectirt wurde.

So war der Zustand des einfachen Mikroskopes etwa ein Jahrhundert nach seiner Erfindung. Man benutzte allgemein Glaskügelchen oder biconvexe Linsen, die letzteren schon von 200- bis 300facher, die ersteren von noch weit stärkerer Vergrösserung, und damit wurden viele noch heutigen Tages brauchbare Beobachtungen angestellt. Aber noch immer musste man das Mikroskop mit der Hand gegen das Licht halten, und viele Dinge konnten wegen der hierbei erforderlichen verticalen Stellung nur unvollkommen gesehen werden, da auch ausserdem die Gelegenheit fehlte, sie unter einem vergrössernden Glase zu zergliedern.

Dem letzteren Mangel wurde zuerst abgeholfen. Man brachte einen mit Gelenken versehenen Linsenträger auf einen Fuss. Der Natur der Sache nach konnten aber hierzu zuvörderst nur schwach vergrössernde Linsen genommen werden, damit das Object und dessen Theile noch bei auffallendem Lichte sichtbar blieben. Später wurde auch hierin eine Verbesserung erzielt, indem man den bereits früher beim zusammengesetzten Mikroskope gebrauchten Spiegel auch auf das einfache Mikroskop übertrug. Weiterhin erkannte man, dass dem Mikroskope auch ein besonderer Objecttisch zugefügt werden sollte, der frei und hinlänglich gross sein musste, um mehrere Objecte darauf zu bringen, die unter der Linse zergliedert wurden. Der Objecttisch und die darauf auszuführenden Arbeiten erforderten aber eine grössere Festigkeit des ganzen Apparates, als bisher, und so entstand das Stativ oder die Stange, woran die verschiedenen Theile des Instrumentes befestigt wurden. Auch wurden mehrere bereits vielfach verbesserte Einrichtungen getroffen, um den Abstand zwischen Linse und Object zu reguliren, wozu eine um so grössere Genauigkeit erforderlich war, je mehr man in der Anfertigung stark vergrössernder Linsen bis zu 700 Mal und mehr fortschritt, während man es mit Glaskügelchen bis zu einer noch weit stärkeren Vergrösserung trieb.

Auf dieser Stufe stand das einfache Mikroskop während der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts und selbst noch im ersten Viertel unseres Jahrhunderts. Zu wissenschaftlichen Untersuchungen verdiente es damals bei weitem den Vorzug vor dem zusammengesetzten Mikroskope,

Digitized by Google

und mit ihm sind daher auch alle bedeutenden Untersuchungen während dieses Zeitraumes ausgeführt worden. Die Meisten zweifelten an der Möglichkeit einer gründlichen Verbesserung des zusammengesetzten Mikroskopes, und auch nachdem die desfallsigen Versuche die Möglichkeit eines günstigen Erfolges ahnen liessen, suchten noch Manche das einfache Mikroskop auf eine höhere Stufe optischer und mechanischer Vollkommenheit zu erheben. Eine genauere Kenntniss der Gesetze, denen der Gang der Lichtstrahlen folgt, gab die Berechtigung nach der einen Seite, nach der anderen aber nicht minder die grossen Fortschritte der praktischen Mechanik. Man kam darauf, statt der Glaskügelchen und biconvexen Linsen, bei denen sich immer eine starke sphärische Aberration geltend macht und die deshalb nur eine geringe Oeffnung besitzen dürfen, Linsen zu Systemen zu vereinigen, und man lernte die besten Methoden zur Anfertigung von Doublets und Triplets kennen. Man fing an, statt des Glases die stärker strahlenbrechenden, dabei aber weniger farbenzerstreuenden Edelsteine zu Linsen zu verwenden. Statt der kleinen Hülse endlich, woraus das kleine *Vitrum pulicarium* von ehedem bestand, verfertigte man Mikroskopgestelle, deren Einrichtung zwar eine sehr complicirte, dabei aber auch eine recht verständige war, die eine vielleicht mehrwöchige Arbeit erforderten, und an denen nichts vergessen wurde, was bei feineren Beobachtungen nur einigermaassen von Nutzen sein kann, z. B. die gröberen und feineren Bewegungen zur gehörigen Einstellung der Linsen, zweckmässige Beleuchtungsapparate, Mittel zur mechanischen Bewegung der Objecte, eine binoculäre Einrichtung u. s. w.

Und dennoch gelang es dem einfachen Mikroskope nicht, seinen früheren Vorrang zu behaupten. Als Instrument, mittelst dessen das Auge in die tiefsten Schlupfwinkel der Natur einzudringen vermag, hat es seinem Nebenbuhler, dem zusammengesetzten Mikroskope, weichen müssen, wie sich im folgenden Abschnitte bei der Vergleichung beider herausstellen wird. Von jetzt an ist dem einfachen Mikroskope ein geringerer Wirkungskreis als früherhin zugefallen. In allen jenen Fällen, wo starke Vergrösseruugen von 200 Mal und darüber gefordert werden, ist es nicht mehr das vorzugsweise gebrauchte Iustrument. Dagegen ist es noch immer in allen Fällen brauchbar, wo man einer geringeren Vergrösserung bedarf; und da es auch noch den Vortheil bietet, dass es die Objecte in ihrer wahren Stellung zeigt, so eignet es sich auch viel besser, wenn Zergliederungen unter dem Mikroskope vorgenommen werden sollen. Das zusammengesetzte Mikroskop lässt sich freilich auch als ein bildumkehrendes einrichten, aber natürlicher Weise ist eine solche Einrichtung theurer, und hinsichtlich der bequemen Tragbarkeit, die doch natürlich für denjenigen, der die Natur in der Natur selbst zu studiren wünscht, immer von sehr grossem Gewichte sein wird, ist gar kein Vergleich mit dem einfachen Mikroskope zulässig.

Digitized by Google

Fünfter Abschnitt.

Das zusammengesetzte dioptrische Mikroskop.

Das znsammengesetzte Mikroskop, wie es zuerst aus den Händen von 40
Hans nnd Zacharias Janssen kam, war gewiss kein Instrument, das die Merkmale einer geringen Knnstfertigkeit der Erfinder an sich trug; nach der Beschreibnng, die uns Willem Boreel davon giebt (S. 23), hält es im äusseren Ansehen wenigstens recht wohl einen Vergleich mit späteren Mikroskopen aus. Das anderthalb Fuss lange und zwei Zoll dicke Rohr war von vergoldetem Messing; es wurde von drei Delphinen aus dem nämlichen Metalle getragen und ruhte auf einem Fusse aus Ebenholz, der zugleich dazu diente, mehrere kleine Instrumente und die zu betrachtenden Objecte aufzunehmen.

Viele Autoren sind in Betreff dieses Instrumentes in einen sonderbaren Irrthum verfallen, der zuerst bei Priestley (*History and present state of discoveries relating to vision* etc. p. 77) vorzukommen scheint, von wo ihn Adams (*Essays on the Microscope* p. 3) aufgenommen hat, weiterhin der Verfasser des Artikels *Microscope* in der *Encyclopaedia Britannica*, desgleichen Chevalier (*Die Mikroskope* u. s. w. S. 3), Krünitz (*Encyclopädie* Thl. 90, S. 243), Quekett (*Praktisches Handbuch der Mikroskopie* S. 3), Hogg (*The Microscope, its history, construction and applications.* Lond. 1854. p. 2). Alle diese Autoren haben in diesem Punkte, wie in manchen anderen, einander abgeschrieben, ohne die Quellen nachzusehen, aus denen für die Geschichte des Instrnmentes zu schöpfen war. Es heisst nämlich immer, das Instrument habe sechs Fuss Länge gehabt,

und deshalb waren wohl Manche der Ansicht, es sei gar kein Mikroskop, sondern eher ein zwischen Mikroskop und Teleskop mitten inne stehendes Instrument gewesen, dergleichen auch später noch als sogenannte polydynamische Mikroskope angefertigt wurden.

Der Irrthum ist offenbar durch eine verkehrte Uebersetzung der Worte „*ad sesquipedem longo*" bei Boreel entstanden, zumal da derselbe vorher sagt: „*nec erat (ut nunc talia monstrantur) curto tubo*", womit er aber wahrscheinlich die damals sehr gebräuchlichen *Microscopia pulicaria* meint. Wir haben uns jedoch das Middelburg'sche Mikroskop so vorzustellen, dass es im äusseren Ansehen sich nicht sehr von jenen unterschied, die einige Jahre später verfertigt wurden.

Ueber seine optische Zusammensetzung lässt sich kaum etwas Bestimmtes sagen, da Boreel darüber schweigt. Das Wahrscheinlichste ist wohl, dass es zwei convexe Linsen hatte, ein Objectiv und ein Ocular. Wilde (*Geschichte der Optik*, S. 151) erachtet es zwar für das Wahrscheinlichste, dass dieses Mikroskop aus einer concaven und einer convexen Linse bestanden habe, weil auch die ersten Teleskope eine solche optische Einrichtung hatten. Dieser Grund kann aber nicht als gültig erachtet werden, denn das Mikroskop ist vor dem Teleskope erfunden worden, und bei den späterhin während des 17. Jahrhunderts verfertigten Mikroskopen (jenes von Fontana ausgenommen) sind auch nur convexe Gläser benutzt worden. Dass dies bei dem Middelburg'schen Mikroskope auch der Fall war, wird dadurch fast zur Gewissheit erhoben, dass nach den oben (S. 22) mitgetheilten Briefen von Peiresc jene Instrumente, welche Drebbel nach dem Muster des Middelburg'schen verfertigte, ein verkehrtes Bild gaben, also sicherlich aus zwei convexen Linsen bestanden. — Beleuchtungsapparate scheinen Janssen's Mikroskope ganz gefehlt zu haben.

Was die Vergrösserung dieses Mikroskopes betrifft, so giebt Boreel an, man habe kleine Objecte umgemein gross (*ad miraculum fere maxima*) dadurch gesehen. Wenn wir auch kein zu grosses Gewicht auf diese Worte legen wollen, so darf doch wohl soviel daraus gefolgert werden, dass das Mikroskop von Hans und Zacharias Janssen in dieser Hinsicht jenen Mikroskopen nicht viel nachstand, die ein halbes Jahrhundert später gefertigt wurden und die Boreel, nach dem Inhalte seines Briefes zu urtheilen, recht wohl kannte.

Dass Drebbel, der das Janssen'sche Mikroskop geschenkt bekommen hatte, bald nachher auch Mikroskope verfertigte, ist oben (S. 21) bereits mitgetheilt worden.

Das Mikroskop, welches Fontana 1646 beschrieb, dessen Beschreibung ich aber nur aus dem kurzen Auszuge bei Borellus (*De vero telescopii inventore* etc. Lib. II, p. 21) kenne, hatte zwei convexe Linsen, und zwischen diesen war eine Concavlinse angebracht. Es scheint nicht

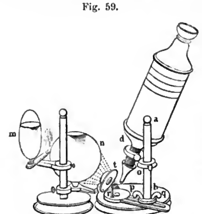
Digitized by Google

über 2 bis 3 Zoll Länge gehabt zu haben. Ueber seine übrige Einrichtung finde ich nichts angegeben.

Das erste zusammengesetzte Mikroskop von Galilei muss nach der Beschreibung, die er an Federico Cesi davon gab (S. 26), mit den Drebbel'schen Instrumenten, welche Peiresc schickte, übereinstimmend gewesen sein. Sie bestanden aus zwei beweglichen Röhren, um das Instrument verkürzen und verlängern und somit die Vergrösserung abändern zu können: die Objecte mussten bei beiden auf den Fuss des Instrumentes kommen, mit dem Unterschiede jedoch, dass beim Drebbel'schen Instrumente längliche, beim Galilei'schen runde, scheibenförmige Objecttäfelchen gebraucht wurden.

Das älteste zusammengesetzte Mikroskop, von dem wir eine Abbildung besitzen (Fig. 59), ist jenes von Robert Hooke in der im Jahre 1665 herausgekommenen *Micrographia*. Es hatte drei Zoll Durchmesser auf sieben Zoll Länge, und bestand aus vier Röhren, die sich ausziehen liessen, um das Mikroskop zu verlängern: sodann enthielt es drei Gläser, namentlich ein kleines Objectivglas, ein Mittelglas und ein Ocular. Hooke benutzte alle drei Gläser, wenn es ihm um ein grosses Gesichtsfeld zu thun war; er liess aber das mittlere weg, wenn er die Objecte recht genau betrachten wollte. 41

Fig. 59.



Hooke's zusammengesetztes Mikroskop.

Der verdünnte untere Theil des Mikroskoprohres *d*, worin sich die Objectivlinse befand, war mit einem Schraubendrahte versehen, mittelst dessen eine Annäherung zum Objecte, so wie eine Entfernung von demselben möglich war, und mit dem Stative *a b* war das Mikroskop durch ein Charniergelenk bei *o* verbunden, damit das Rohr verschiedenartig geneigt werden konnte. Eine Art beweglicher Schlitten *pq* hatte an dem Ende *p* einen runden Objecttisch, darauf stand die kleine Säule *r*, die hohl war und einen Stift enthielt, der sich höher und tiefer stellen liess, um Objecte daran zu befestigen.

Dieses Mikroskop war ausdrücklich dazu bestimmt, Objecte bei auffallendem Lichte zu beschauen, wobei sich Hooke des nebenstehenden Beleuchtungsapparates bediente: einer Lampe *m*, einer mit Wasser gefüllten Glaskugel *n*, einer biconvexen Linse *t*, durch welche das Licht auf das Object concentrirt wird.

42 Um die nämliche Zeit etwa machte sich Eustachio Divini in Rom berühmt durch das Verfertigen von Mikroskopen, die einigermaassen von den früheren abwichen. Ein Bericht darüber wurde 1668 der *Royal Society* in London abgestattet, der dem *Giornale dei Letterati* entnommen war und in den *Philos. Transact.* 1668. Nr. 42 abgedruckt steht. Eine genauere Beschreibung soll sich übrigens bei Honoratius Fabri (*Synopsis optica.* Prop. 46) finden, die ich aber nicht habe nachsehen können. Divini's Mikroskop enthielt ausser der Objectivlinse zwei planconvexe Oculare, die so gestellt waren, dass ihre gewölbten Flächen einander berührten. Diese Oculare hatten nach Priestley (*History* etc. p. 218), der aus Birch's *History* Vol. 4, p. 313 geschöpft hat, ungefähr die Breite einer Mannshand, und das sie enthaltende Rohr soll die Dicke eines Mannsscheukels gehabt haben; doch steht davon nichts in den *Philos. Transactions.* Das Mikroskop war etwa 16½ Zoll lang, und es liess sich zu vier verschiedenen Längen ausziehen, um die verschiedenen Vergrösserungen herauszubringen. Die schwächste Vergrösserung war 41 Mal im Durchmesser, die stärkste 143 Mal. Der Durchmesser des Gesichtsfeldes, auf dem Objecttische gemessen, betrug 8 Zoll 7 Linien, wenn das Mikroskop ganz zusammengeschoben war, dagegen etwas über 16 Zoll, wenn man alle Röhren auszog. Es zeichnete sich besonders dadurch aus, dass die betrachteten Objecte nicht verbogen, sondern geradflächig waren.

Zeitgenossen und Landsleute von Eustachio Divini waren Campani in Bologna und Salvetti. Beide, namentlich der Letztgenannte, sollen sich in der Verfertigung von Mikroskopen ausgezeichnet haben; von ihren Instrumenten sind mir jedoch weder Beschreibungen noch Abbildungen bekannt. Vielleicht ist ein Mikroskop von Salvetti gemeint, wenn Kinner in einem Briefe an Schott (s. P. G. Schott, *Technica curiosa.* Herbipol. 1687, p. 857) erzählt, er habe Kircher gebeten, ihm ein Mikroskop von Eustachio Divini zu schicken, und Kircher habe ihm eins geschickt, das nicht von Divini, sondern von einem anderen jungen Menschen in Rom verfertigt wurde, dessen Instrumente nur halb soviel kosteten, und doch gleich gut, wenn nicht besser wären, als jene von Divini. Kinner rühmt dieses Mikroskop sehr, und erwähnt, dass es 80 Mal im Durchmesser vergrössere, „*quod certe insigne augmentum est.*“

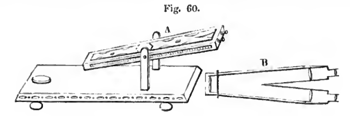
43 Indem ich mich möglichst an die Zeitfolge halte, muss ich jetzt eines Versuches zur Verbesserung des zusammengesetzten Mikroskopes gedenken, der zwar auf dem zuerst eingeschlagenen Wege sich als fruchtlos erwiesen hat, in unserer Zeit jedoch aufs Neue und, wie sich bald zeigen wird, mit besserem Erfolge fortgesetzt worden ist.

Von dem Gedanken ausgehend, dass man mit zwei Augen besser sieht als mit einem, hatte man frühzeitig die Fernrohre so einzurichten

Digitized by Google

versucht, dass man mit beiden Augen zugleich sah. Nach van Swinden (l. l. p. 47) hatte Lippershey, einer der Erfinder des Fernrohres, schon 1609 einen solchen *Binoculus* hergestellt, und einen anderen finden wir 1645 vom Capucinermönch Antonius Maria de Reita in der sonderbaren Schrift: *Oculus Enoch et Eliae sive Radius Sydereomysticus* etc. Antwerp. 1645, p. 340 beschrieben, die ausser den Dedicationen: *Deo optimo maximo* und *Augustissimo invictissimoque Caesari Ferdinando* III, für den zweiten Theil auch noch die Dedication: *Magnae matri Mariae* enthält. Im Jahre 1678 lehrte dann der Capuciner Cherubin (*De visione perfecta, sive de amborum visionis axium concursu in eodem objecti puncto.* Paris. 1678, p. 77 bis 100) dieses Princip auch aufs Mikroskop anwenden, und er gab eine durch viele Abbildungen erläuterte ausführliche Beschreibung seines Instrumentes (Fig. 60). Es hatte zwei kegelförmig zu-

Fig. 60.



Binoculäres Mikroskop von Cherubin.

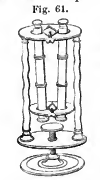
laufende Röhren *B*, die durch Bügel gegen einander gehalten werden und in einen vierseitigen Behälter eingeschlossen sind. Nach unten ist ein Theil der beiden Röhren abgeschnitten, so dass sie hier nur ein Rohr bilden. In jedem Rohre waren drei biconvexe Linsen enthalten, die paarweise im Durchmesser wie in der Brennweite mit einander übereinstimmten. Das Objecttivglas und das Ocular batten beide die nämliche Brennweite, nämlich einen Zoll. Die Brennweite des mittleren Glases betrug $^1/_4$ Fuss. Beide Objectivgläser waren am Rande so abgeschliffen, dass sie, wenn die abgeschliffenen Ränder an einander lagen, ein Ganzes bildeten. Cherubin stellt die Wirkung seines Instrumentes sehr hoch; es sollte selbst das damals berühmte Mikroskop Divini's übertreffen. Aus Bonannus (l. l. p. 15) ersieht man jedoch, dass die Zeitgenossen nicht so günstig darüber urtheilten. Aus der Art des Instrumentes erhellt aber auch, dass es stets ein erfolgloses Bemühen sein wird, solche binoculäre Mikroskope zu verfertigen, die den monoculären gleichkommen oder sie gar übertreffen*).

*) Kastner (*Geschichte der Mathematik.* IV, S. 83) gedenkt eines nach Cherubin's Vorschrift eingerichteten binoculären Mikroskopes, welches ein Capucinermönch Anian verfertigt hatte; dasselbe trägt die Jahreszahl 1711, und wurde

Digitized by Google

Es beschäftigten sich auch noch Andere mit der Herstellung binoculärer Mikroskope. So wird eines bei Bion (*Mathematische Werkschule.* Dritte Auflage, von J. G. Doppelmeyer vermehrt. Nürnberg 1726) beschrieben, während in der ersten Auflage dieses Buches nichts von binoculären Mikroskopen zu finden ist, und ein anderes kommt in der zweiten Auflage von Zahn's *Oculus artificialis* vor. In der äusseren Einrichtung unterscheiden sie sich insofern, dass die beiden Mikroskope entweder wie in Fig. 61, in schiefer Richtung neben einander gestellt wurden, oder dass man sie zusammen in einen Kasten oder Behälter brachte, der selbst wieder in verticaler Richtung oder, wie bei Chernbin, in schiefer horizontaler Richtung zwischen zwei Stangen hing.

Fig. 61.



Ein anderes binoculäres Mikroskop.

44 Müssen nun auch diese Versuche als gänzlich misslungene angesehen werden, so fehlte es doch auch damals nicht an anderen, die mit besserem Erfolge gekrönt waren. Es wurde bereits bemerkt, dass die Hauptveränderung, welche Divini bei seinem Mikroskope vornahm, darin bestand, dass er zwei planconvexe Linsen zu einem Oculare vereinigte, um dadurch das zu erlangen, was man mit dem Namen ebenes Gesichtsfeld belegt, d. h. ein solches, wo sich am Rande des Gesichtsfeldes die Theile des Objectes mit gleicher Deutlichkeit zeigen, wie in dessen Mitte. Bei anderen Mikroskopen aus jener Zeit hat man offenbar ein gleiches Ziel vor Augen gehabt. Besondere Erwähnung verdient es aber noch, dass bereits damals Doublets als Objective benutzt wurden, weil man gefunden hatte, diese veranlassten bei der nämlichen Vergrösserung eine weniger starke sphärische Aberration, so dass ihre Oeffnung grösser gemacht werden durfte, um mehr Licht durchtreten zu lassen.

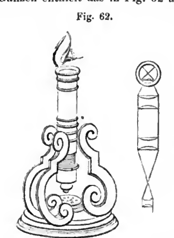
Im Jahre 1672 vereinigte Sturm (*Collegium experimentale sive curio-*

---

in der Sammlung der Universität Göttingen aufbewahrt. Ueber dieses Instrument, so wie über zwei binoculäre Fernrohre desselben Anian, die ebenfalls in Göttingen aufbewahrt wurden, spricht sich Kastner folgendermaassen aus: „Mir ist bei den Proben, welche ich mit diesen Werkzeugen gemacht habe, nicht vorgekommen, dass der Vortheil, den sie geben, so viel werth sei als nur die Mühe, die man hat, das so zusammengesetzte Werkzeug zum Gebrauche vorzurichten." — Wie unvollkommen Cheruhin's Instrument war, das ersieht man auch noch aus der Vorrede seines Buches. Er sagt hier, man erzähle von einem Divini'schen Mikroskope, durch dasselbe sollte man ein Thierchen, viel kleiner als ein Sandkorn, mit Schuppen bedeckt und mit sechs Beinen versehen, erkennen, und diese Beobachtung hält er für so übertrieben und unglaublich, dass er ganz ausführlich die Unmöglichkeit derselben darzustellen sucht.

sum. Norimb. 1676. I, p. 142) eine planconvexe und eine biconvexe Linse zu einem Objective, ebenso auch zwei biconvexe Linsen von ungleicher Krümmung, und er rühmte, dass er dadurch nicht blos eine stärkere Vergrösserung bekam, sondern auch ein schärferes Bild. Auch giebt Zahn (l. l. Ed. 2. p. 748. *Vollst. Lehrgeb. d. Optik*, S. 113) Nachricht von einem seiner Mikroskope, welches vier Linsen enthielt, die alle nur eine kurze Brennweite hatten, so dass das ganze Rohr, in welches sie gefasst waren, noch nicht einen Zoll Länge hatte. Von den beiden untersten als Objectiv dienenden Linsen war die eine biconvex, die andere planconvex, und diese berührten sich mit ihren Oberflächen. Beim Mikroskope Couradi's (*Dreifacher Sehestrahl.* Koburg 1710. S. 113) bestand das Objectiv ebenfalls aus zwei Linsen. Ebenso hatte Johann Franz Grindl von Ach (s. Zahn l. l. p. 234) im Jahre 1685 ein Mikroskop gemacht, bei dem Divini's Princip auf alle Linsen in Anwendung gebracht wurde. Im Ganzen enthielt das in Fig. 62 abgebildete Instrument sechs planconvexe Gläser, die paarweise mit den convexen Flächen einander zugekehrt waren. Ueber dem Oculare befand sich noch ein ganz ebenes Glas. Ohne Zweifel verdient diese Einrichtung nicht nur vor den früheren Mikroskopen den Vorzug, sondern auch vor jenen, die über ein Jahrhundert nach Grindl hergestellt wurden, und man dürfte sich wohl darüber wundern, dass sie nicht mehr in allgemeinen Gebrauch gekommen ist, wüsste man nicht, wie schwer die Linsen dergestalt zu vereinigen sind, dass ihre Axen genau in einer Linie liegen, was doch durchaus nöthig ist, wenn das Bild rein und scharf sein soll. Grindl selbst wusste es und hat auch einige Vorschriften dafür gegeben.

Fig. 62.



Zusammengesetztes Mikroskop von Grindl von Ach.

Schon damals machte man, es scheint aber nur ausnahmsweise, zusammengesetzte Mikroskope mit mehreren Objectivlinsen von ungleicher Brennweite, um die Vergrösserung durch den Wechsel der Objectivlinsen abändern zu können. In dem vorhin genannten Werke von Sturm, welches 1672 geschrieben ist, wird ein englisches Mikroskop erwähnt, dessen Verfertiger aber nicht genannt wird, zu welchem vier abnehmbare Objectivlinsen gehörten, zwei planconvexe und zwei biconvexe, die nach der Reihe in die für die Objectivlinse bestimmte Aushöhlung unten am Mikroskoprohre gebracht werden konnten.

Digitized by Google

Schon in der ersten 1685 erschienenen Ausgabe von Zahn's *Oculus artificialis (Fundam.* III, p. 98) sind verschiedene zusammengesetzte Mikroskope abgebildet, deren Maasse und Brennweiten, so wie die Abstände der Linsen genau angegeben werden. Es sind dabei besonders die *Dioptrica* von Dechales benutzt, und es wird ein Mikroskop von diesem mit vier Linsen, gleichwie ein anderes von Moneonny mit drei Linsen beschrieben. Recht beachtenswerth sind in diesem Werke Zahn's, z. B. *Fundam.* II, p. 168, 176, 267. *Fundam.* III, p. 95 seq., die theoretischen Principien und die praktischen Regeln für die Herstellung zusammengesetzter Mikroskope, die meistens auch noch für unsere Zeit Gültigkeit haben. In Fig. 63 ist eines von den zusammengesetzten Mikroskopen dargestellt, die sich bei Zahn abgebildet finden, ohne dass aber dessen Verfertiger genannt wird.

Fig. 63.



Zusammengesetztes Mikroskop, bei Zahn abgebildet.

45 Hier ist der passende Ort, um mit ein Paar Worten der damals und selbst schon früher vorgekommenen Versuche zu gedenken, Linsen mit parabolischen und hyperbolischen Oberflächen zu schleifen und dadurch die sphärische Aberration zu beseitigen, worin man nach damaligen Begriffen das alleinige Hinderniss fand, warum die dioptrischen Werkzeuge nicht bis zum höchsten Grade der Vollkommenheit gebracht wurden. Erst später kam man durch Newton zur Erkenntniss, dass die chromatische Aberration, welche keineswegs von der Form der Linsen bedingt wird, der Schärfe der Linsenbilder weit mehr Abbruch thut, als die andere Art von Aberration.

Dass man schon sehr frühzeitig von der grösseren Tüchtigkeit parabolischer Linsen überzeugt war, wo es darauf ankommt, parallele Strahlen in einem Punkte zu vereinigen, dafür haben wir einen Beweis bei Porta, der in seiner *Magia naturalis.* 1607, p. 614 schreibt: *Parabolum crystallinum omnium vehementissime ignem accendere videbimus; omnibus enim radiis coincidentibus valentius speculo accendit.* Indessen gründete sich dieser Satz wohl mehr auf Theorie, als auf eine durch praktische Ausführung erworbene Erfahrung.

Unter denen, die sich späterhin auf das Schleifen von Linsen für Fernrohre oder Mikroskope legten, begegnen wir mehreren, die auf Linsen mit parabolischer und hyperbolischer Krümmung bedacht waren, wie Rheita, dessen Instrument zum Schleifen hyperbolischer Linsen im *Oculus Enoch et Eliae* p. 340 beschrieben und abgebildet ist, Hevelius, sodann Maignan, der am Schlusse seiner *Perspectiva horaria* ein solches

Digitized by Google

Instrument beschreibt, ferner Wren (*Philos. Transact.* Nr. 48 u. 53) und Descartes (*Oeuvres par Victor Cousin.* Vol. 5, p. 137). Von den zu diesem Zwecke ersonnenen Instrumenten scheint aber kein einziges dem Ziele entsprochen zu haben*).

Besser gelang es Gregory (*Optica promota.* Lond. 1663) und später Christian Huygens, die Gesetze der sphärischen Aberration festzustellen. Namentlich brachte Huygens (*Dioptrica,* p. 181 seq.) die von ihm ermittelten theoretischen Principien auch bei der Verfertigung von zusammengesetzten Mikroskopen in Anwendung. Er wies nach, wie sich der Aberrationswinkel berechnen und daraus ableiten lässt, wie weit die Oeffnung der Objectivlinse verengert werden muss, wenn man ein möglichst klares Bild bekommen will. Wenn ferner zwei Mikroskope gleich stark vergrössern und Oculare von gleicher Brennweite haben, bei dem einen aber das Objectiv eine kürzere Brennweite hat und näher dem Oculare sich befindet als bei dem anderen, so bekommt man nach Huygens mit dem ersteren schärfere und deutlicher hervortretende Bilder. Daraus folgert er, dass man, um die Objecte gut und klar wahrzunehmen, die Vergrösserung nicht in der Weise herbeiführen darf, dass man den Abstand zwischen beiden Gläsern steigert, sondern vielmehr durch Objectivlinsen mit kürzerer Brennweite. An diese Regel hat man sich aber späterhin mehr und mehr gehalten, und gerade ihrer Beachtung ist ein guter Theil der weiteren Vervollkommnung des zusammengesetzten Mikroskopes beizumessen. 46

Man ersieht hieraus, dass man schon damals mancherlei Veränderungen und Verbesserungen im optischen Theile des zusammengesetzten Mikroskopes anzubringen versuchte**), und dass die Wissenschaft mit der 47

---

*) Bei Zahn (l. l. *Fund.* III. p. 77) wird erzählt, dass der König von Frankreich ein Fernrohr besessen habe, wofür dem Verfertiger 1000 Ducaten bezahlt worden wären. Es soll mit hyperbolischen Linsen ausgestattet gewesen sein, und obwohl es nicht über zwei Fuss Länge hatte, soll man doch damit den Saturn mit seinem Ringe (es steht dort *ansulis*) spannengross gesehen haben; ja selbst die übrigen Sterne sollen in unglaublicher Grösse sich dargestellt haben. Dieser letztere Zusatz beweist aber, dass man die ganze Erzählung blos für eine Fabel zu halten hat.

**) Ich habe nicht darüber ins Klare kommen können, wer zuerst das Mittelglas oder das Collectivglas beim zusammengesetzten Mikroskope in Anwendung gebracht hat. Hevelius erwähnt in seiner 1647 erschienenen *Selenographia* nur zweier Arten von Mikroskopen, die damals vorkamen, nämlich Mikroskope mit einer Linse (*Vitra muscaria*) und zusammengesetzte Mikroskope mit zwei Linsen. Einige Jahre später indessen treffen wir das Zwischenglas an, und zwar, wie oben erwähnt, in Hooke's Mikroskope. Ohne Grund scheibt daher Martin (*System*

Digitized by Google

Erfahrung Hand in Hand ging, um das Instrument immer mehr zu vervollkommnen.

Die mechanische Einrichtung der damaligen Mikroskope liess vieles zu wünschen übrig. Die Annäherung zum Objecte bewirkte man entweder durch eine Schraube am unteren Ende des Rohres, in welches die Linsen gefasst waren, oder durch eine Schraube, welche bei feststehendem Rohre das Object in Bewegung setzte. Der ersteren Bewegungsweise gab man aber ziemlich allgemein den Vorzug: sie kommt an den Mikroskopen Hooke's, Grindl's und vieler Anderer vor. Zahn giebt eine Abbildung der letzteren Einrichtung. Uebrigens hatten manche damalige Mikroskope, z. B. jenes von Hooke, eine solche Einrichtung, dass das ganze Rohr auch anders als blos senkrecht gestellt werden konnte.

Die Beleuchtung der Objecte war allgemein eine sehr unvollkommene. Durchfallendes Licht scheint man anfangs gar nicht benutzt zu haben; das Licht wurde über dem untersuchten Objecte concentrirt. Hooke's Beleuchtungapparat wurde schon kurz erwähnt (S. 99, Fig. 59); sein Verfahren beschreibt er aber in der Vorrede zur *Micrographia* folgendermaassen. Die Untersuchungen wurden in einem Zimmer angestellt, worin sich nur ein gegen Süden gelegenes Fenster befand. Drei bis vier Fuss von diesem Fenster stellte er das Mikroskop auf, und das Licht liess er mittelst einer mit Wasser gefüllten Glaskugel *n* und einer dicken planconvexen Linse *t* auf das Object fallen. Schien die Sonne, dann brachte er ein geöltes Papier oder ein matt geschliffenes Glas vor das Object, und darauf liess er die Sonnenstrahlen mittelst eines Brennglases fallen. Abends benutzte er eine Lampe *m* und die schon erwähnte Glaskugel nebst der planconvexen Linse, und der Lampe gegenüber stand ein concaver Metallspiegel, durch den ein Theil der Strahlen wiederum reflectirt wurde. Späterhin (s. Hartsoeker, *Essay de Dioptrique*, p. 169) wurde die biconvexe Linse zur Beleuchtung der Objecte immer allgemeiner eingeführt.

Da man die Objecte nur bei auffallendem Lichte beschaute, so war die nothwendige Folge, dass man in der Anwendung stärker vergrössernder Objectivlinsen bald an einer Grenze anlangte, bei deren Ueberschreitung das von den Objecten reflectirte Licht, trotz aller zur Verstärkung angewandten Mittel, zu schwach war, um die Objecte und deren Einzelnheiten noch gehörig unterscheiden zu können. Auch hatten die Objectivlinsen, welche die damaligen Optiker für ihre zusammengesetzten Mikroskope herstellten, meistens eine ziemlich grosse Brennweite von $^1/_2$ bis 1 Zoll, und konnten mithin nur ein schwach vergrössertes Bild liefern.

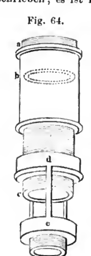
of Opticks 1740. p. 42) seine Einführung Huygens zu, der allerdings das Ocular des Fernrohres wesentlich verbessert hat durch Einführung und richtige Stellung eines zweiten Oculares, der aber in den *Dioptrica* nirgends von einem Mikroskope handelt, welches aus mehr denn zwei Linsen bestände.

Digitized by Google

Zudem sind die Fälle nicht selten, ja wie wir jetzt wissen, sind es die am häufigsten vorkommenden, wo das Gefüge der Objecte sich weit besser bei durchfallendem als bei auffallendem Lichte erkennen lässt. Schon damals gebrach aber die Gelegenheit nicht, diese Wahrnehmung zu machen, denn die einfachen Mikroskope, wie wir gesehen, waren alle gerade so eingerichtet, dass die Objecte vorzüglich bei durchfallendem Lichte beschaut wurden.

So einfach uns jetzt die Sache vorkommt, es war dennoch eine bedeutende Verbesserung, als man dem zusammengesetzten Mikroskope die Einrichtung gab, dass es ebenfalls zu Beobachtungen bei durchfallendem Lichte benutzt werden konnte. Diese Verbesserung wurde zuerst im Jahre 1685 durch Carl Anton Tortona eingeführt, der in des Bonannus *Micrographia curiosa* als *„Summi pontificis (Alexandri 8) extra muros camerarius“* bezeichnet wird. Sein Mikroskop wurde von Ambrosius Langenmantell (*Miscellanea curiosa*. Decuriae II. Ann. 7. 1688. p. 442) beschrieben; es ist Fig. 64 abgebildet. Das Mikroskoprohr, worin sich bei *a* das Ocular, bei *b* das Collectivglas und bei *c* das Objectiv befindet, die alle biconvex sind, hat nach unten einen Schraubendraht, wodurch es in dem Ringe *d* auf- und niedergeschraubt werden kann. Dieser Ring steht aber durch drei kleine Stäbe mit einem zweiten Ringe *e* in Verbindung, der nach unten enger wird und dort zwei runde Glasscheiben enthält, zwischen welche das Object zu liegen kommt. Will man das Mikroskop gebrauchen, so nimmt man das Rohr in die Hand und kehrt es dem Lichte zu.

Fig. 64.



Tortona's zusammengesetztes Mikroskop.

Langenmantell lobt das von ihm beschriebene Instrument sehr; er schlägt vor, das biconvexe Collectivglas durch zwei planconvexe Linsen zu ersetzen, deren gewölbte Flächen einander entgegen sähen, und fügt die richtige Bemerkung bei, dass man weiterhin auch Objectivlinsen mit stärkerer Krümmung benutzen könne.

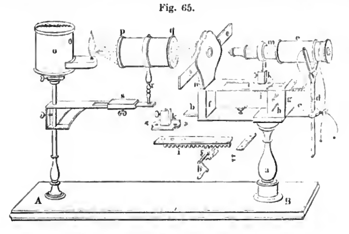
Tortona fand auch bald Nachfolger, und zwar zuerst bei seinen Landsleuten Giuseppe Campana und Marco Antonio Celi. Ihre Instrumente unterscheiden sich vom Tortona'schen nur dadurch, dass sie zum Theil aus Messing verfertigt sind, und eine bequeme Einrichtung zum Ausbreiten der Objecte haben.

Bedeutender waren die Verbesserungen, welche Philippus Bonannus in der mechanischen Einrichtung anbrachte. In seiner 1691 erschienenen *Micrographia curiosa* giebt er die Beschreibung dreier Mikroskope, die sich in mehr denn einer Beziehung vortheilhaft von den früheren un-

terscheiden. Bei einem derselben befand sich unten am Fusse des Mikroskopes eine Oeffnung, wie bereits bei Tortona, und auch zwei Täfelchen, die durch eine Spiralfeder zusammengedrückt wurden und das dazwischenliegende Object festhielten; man konnte also das Mikroskop in horizontaler Richtung gegen das Licht halten.

Noch zweckmässiger war ein anderes horizontales Mikroskop desselben eingerichtet, welches in Fig. 65 abgebildet ist, wo zuerst ein Trieb

Fig. 65.



Zusammengesetztes Mikroskop von Bonannus.

angebracht ist, damit der Abstand zwischen Objectiv und Object verändert werden kann. *AB* ist eine hölzerne Unterlage, auf welche die gedrechselte Säule *a* festgeschraubt ist, und auf letzterer ist das platte Stück *bc* befestigt, welches an dem einen Ende die Gabel *d* trägt zur Unterstützung des lose darauf liegenden Mikroskoprohres *e*, während in der Mitte die senkrecht stehenden Theile *f* und *g* angebracht sind. Das Stück *h* ist ausgehöhlt und enthält ein gezahntes Rad, das durch die Handhabe *h* herumgedreht wird und in die gezahnte Leiste *i* eingreift; dadurch wird aber das Stück *k* in Bewegung gesetzt, in welches der Stachel *l* mit dem Ringe *m* eingesetzt ist. Dieser Ring enthält eine Mutterschraube, in welche die am Ende des Mikroskoprohres angebrachte Schraube passt. Bei *n* befinden sich zwei verticale Platten, zwischen welche die hölzernen Schieber mit den Objecten kommen. — Dieses Mikroskop war grossentheils aus Messing verfertigt, was bis dahin nur wenig gebräuchlich war; denn meistens pflegte man das Rohr aus Papier oder Pappe, das übrige aber aus Holz herzustellen.

Bonannus stellte seine Beobachtungen bei Tageslicht wie bei künstlicher Beleuchtung an; er gab aber letzterer den Vorzug, und der zu sei-

nem Mikroskope gehörige Apparat ist deshalb daneben abgebildet. Es gehört dazu eine Lampe *o* und ein mit zwei biconvexen Linsen versehenes Rohr *pq*. Das Rohr ruht auf der Stange *r*, und mittelst der Schraube *s* kann es nach Willkür der Flamme genähert oder davon entfernt werden.

Wie unvollkommen anch dieses Mikroskop von Bonannus im Vergleiche mit unseren heutigen erscheinen mag, immerhin war damit in der mechanischen Einrichtung ein bedeutender Schritt vorwärts gethan*). Was die optische Zusammensetzung betrifft, so gebrauchte er eigentlich drei verschiedene Mikroskopröhren; jede hatte drei biconvexe Linsen, die in ungleichem Maasse vergrösserten, und sie konnten nach der Reihe in den Ring *m* geschraubt werden, je nachdem man eine stärkere oder eine schwächere Vergrösserung haben wollte. Dies war offenbar eine Verbesserung; denn bis dahin hatte man die verschiedenartigen Vergrösserungen meistens dadurch zu Stande gebracht, dass man das Rohr, mithin den Abstand zwischen Objectiv und Ocular verlängerte, ein sehr unvollkommenes Mittel, wodurch zwar die Vergrösserung znnimmt, die Umrisse der Bilder aber an Schärfe verlieren. Bonannus gab daher mit Recht den stärkeren Objectivlinsen den Vorzug, wenngleich er noch nicht anf den Gedanken kam, blos dnrch deren Wechsel eine andere Vergrösserung zu bewirken, was doch schon früher, wie erwähnt, von Anderen in Ausführung gebracbt worden war.

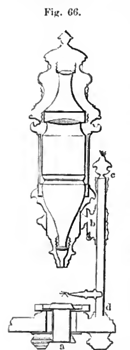
Die Mikroskope von Bonannus scheinen wirklich recht gut gewesen zu sein, nach den oftmals ganz genauen Abbildungen zu schliessen, die er von einer Menge Objecten giebt. So sind z. B. an den Flügelschüppchen mehrerer Schmetterlinge nicht selten die längslaufenden Streifen ganz deutlich angegeben. Auch übertraf sein Mikroskop offenbar die früheren im Vergrösserungsvermögen. Nimmt man einige seiner Abbildungen als Maassstab, so muss es wenigstens 200 bis 300 Mal vergrössert baben.

Im Aeusseren mehr verziert, sonst aber nicht so zweckmässig eingerichtet waren Joblot's Mikroskope, wovon mehrere Arten in dessen *Descriptions et usages de plusieurs nouveaux Microscopes* etc. Par. 1718 beschrieben sind. Sein zusammengesetztes Mikroskop ist Fig. 66 (a. f. S.) im Durchschnitte abgebildet und auch ohne ausführliche Bescbreibung verständlicb genug. Es verdient nur deshalb besondere Beachtnng, weil darin eine Annäherung zu den späterhin allgemein in Gebrauch gekommenen Mikroskopen mit stangenförmigem Stative hervortritt. Uebrigens

*) Die horizontale Richtung haben auch Andere dem zusammengesetzten Mikroskope gegeben. Im *Vollständigen Lehrgebäude der Optik*. S. 412 und 413 sind zwei solche als holländische Mikroskope (der Verfertiger wird aber nicht genannt) beschrieben und abgebildet; das eine hatte zwei, das andere drei Gläser.

war es darauf eingerichtet, die Objecte bei auffallendem wie bei durchfallendem Lichte zu beschauen. Für den letzteren Fall hatte der Fuss bei *a* eine Oeffnung, die dem Lichte zugekehrt wurde. Die Annäherung zum Objecte erfolgte dadurch, dass das hohle Stück *b* an der Stange *dc* auf- und niedergeschoben wurde.

Fig. 66.



Joblot's zusammengesetztes Mikroskop.

Bei Joblot geschieht auch zuerst der *Microscopes universels* Erwähnung, unter welchem Namen man späterhin in der Regel solche Instrumente verstanden hat, die sich nach Willkür als einfaches und als zusammengesetztes Mikroskop benutzen lassen. Das passt unter den von Joblot beschriebenen nur auf ein einziges; die übrigen konnten nur mit einer Linse benutzt werden. Die ganze Einrichtung bietet auch nichts Besonderes dar, da sie ganz einfach darauf hinaus lief, dass in ein solches Mikroskop, wie es S. 52, Fig. 16 dargestellt ist, statt einer Linse das ganz kurze Rohr eines zusammengesetzten Mikroskopes geschraubt wurde.

Endlich hat Joblot noch ein Instrument beschrieben, worin, wenngleich es nicht mehr denn 5 Linsen enthielt, drei verschiedene Mikroskope und zwei Fernrohre vereinigt waren*).

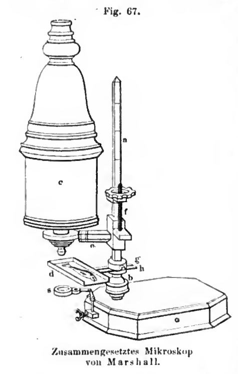
Um die nämliche Zeit lieferte Marshall in England ein Mikroskop (Fig. 67), welches vor den bisherigen einige Vorzüge bietet. Eine vierseitige Stange *a*, die nach unten in eine ziemlich grosse Kugel *b* ausgeht, lagert mit dieser in einer napfförmigen Aushöhlung, so dass ein Kugelgelenk entsteht, welches gestattet, dass die Stange mit sammt dem daran befestigten Mikroskoprohre *c* und dem Objecttische *d* in alle möglichen Richtungen, die horizontale nicht ausgeschlossen, gebracht werden kann. Das breite aber kurze Mikroskoprohr wird von dem Arme *e* getragen, der durch die Schraube *f* sich höher oder tiefer stellen lässt. Der länglich-viereckige Objecttisch *d* besteht aus einem mit einer Glasplatte bedeckten Rahmen, und durch die beiden Arme *g* und *h*, die zwischen zwei runden Scheiben sich bewegen, ist er derge-

*) Man machte damals viel Aufsehens aus solchen Curiositäten. Bei Zahn (l. l. p. 271) ist als *Panscopium* ein Apparat beschrieben, welcher nicht weniger als zehn besondere optische Instrumente enthielt, nämlich zwei Arten Camera obscura, ein Helioskop, ein Mikroskop, ein Polemoskop und mehrere Arten von Teleskopen, mit einzelnen Convexgläsern oder mit Concav- und Convexgläsern.

Digitized by Google

stalt mit der Stange des Mikroskopes verbunden, dass die Arme hin- und hergeschoben werden können und der ganze Objecttisch sich herumdrehen lässt. Zur Beleuchtung mit durchfallendem Lichte wird das Mikroskop bei Tage gegen den Himmel gerichtet, Abends aber wird es vertical gestellt, und das Licht einer darunter befindlichen Kerze wird durch die Linse *s* noch mehr concentrirt.

Fig. 67.



Zusammengesetztes Mikroskop von Marshall.

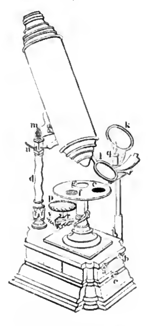
Man ersieht hieraus, dass Marshall's Mikroskop für den Gebrauch manche Bequemlichkeiten und Vortheile darbietet, wodurch es sich vor früheren, selbst vor jenem des Bonannus auszeichnet, vornehmlich auch dadurch, dass eine abgeänderte Vergrösserung durch den Wechsel der Objectivlinse zu Stande gebracht wird.

Die ganze Einrichtung dieses Mikroskopes, wenngleich es ziemlich grob und plump ausgeführt ist, nähert sich offenbar schon jener der späteren Mikroskopstative. Ein wesentlicher Bestandtheil fehlt ihm aber noch, nämlich der Spiegel. Es muss uns aber in der That Wunder nehmen, dass der augenscheinlich so einfache Gedanke, das Gesichtsfeld durch einen die Lichtstrahlen reflectirenden Spiegel zu beleuchten, erst so spät bei den Verfertigern von Mikroskopen sich Geltung verschaffte; dies um so mehr, da man sonst damals bei verschiedenen optischen Instrumenten Spiegel anzuwenden pflegte, und da man sogar, wie wir später sehen werden, bereits den Vorschlag gemacht hatte, das Sonnenmikroskop mit einem Spiegel zu versehen.

Während Joblot in Frankreich und Marshall in England die beschriebenen Mikroskope lieferten, hatte in Deutschland Hertel (*Anweisung zum Glasschleifen.* Halle 1715) wirklich ein Mikroskop zu Stande gebracht, das mit einem Spiegel versehen war und in seiner ganzen mechanischen Einrichtung vorzüglicher war, als alle früheren Mikroskope, ja selbst viel spätere darin noch übertraf (Fig. 68 a. f. S.). Das Mikroskoprohr konnte durch eine Charnierbewegung bei *m* und durch die gekrümmte

Schraube *n* in verschiedene Richtungen gebracht werden. Auf einem hohen vierseitigen Fussstücke stand mittelst eines runden Säulchens ein besonderer Objecttisch. Durch drei Griffe *a*, *b* und *c* liess sich dieser Objecttisch in drei verschiedenen Richtungen bewegen: durch *a* nach oben und nach unten, um das Object in die gehörige Entfernung von der Linse zu bringen; durch *b* in horizontaler Richtung nach der Säule oder Stange *d*, womit der Körper des Mikroskopes verbunden war, oder davon weg; durch *c* endlich liess sich der Objecttisch um seine Axe drehen. Der Mechanismus für diese drei Bewegungen, aus verschiedenen Schrauben und Rädern bestehend, war im Fussstücke verborgen. Der Objecttisch hatte drei besondere runde Felder: zwei waren für undurchsichtige Objecte bestimmt, und zwar hatte *g* eine Elfenbeinplatte, *e* eine Ebenholzplatte; das dritte Feld *f* war leer und für durchsichtige Objecte bestimmt. Unter dem Felde *c* befand sich ein ebener Spiegel *p*, der durch die Schraube *v*, welche in die Zähne eines in dem Säulchen *r* verborgenen Rades griff, in alle Richtungen gebracht werden konnte, um das Licht aufzufangen und auf das Object zu reflectiren. Zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte dienten der concave Metallspiegel *k* und die Linse *l*, zwischen denen eine Lampe aufgehangen war.

Fig. 68.



Zusammengesetztes Mikroskop von Hertel.

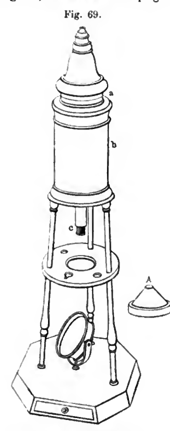
Wir begegnen bei diesem Mikroskope zum ersten Male bedeutenden Verbesserungen. Es hat erstens einen frei für sich dastehenden Objecttisch, der durch mechanische Mittel herumgedreht und in horizontaler Richtung bewegt werden kann, so wie zweitens einen Spiegel zur Beleuchtung durchsichtiger Objecte; drittens aber fügte Hertel seinem Mikroskope auch bereits Schrauben- und Netzmikrometer bei, von denen später die Rede sein wird.

48 Hertel's Mikroskop, wie vortrefflich es auch in mehr als einer Beziehung war, scheint gleichwohl nicht allgemein bekannt geworden zu sein, wahrscheinlich deshalb, weil es wegen der zusammengesetzten Einrichtung kostspielig war. Erst mehrere Jahre später bekam auch das

Digitized by Google

zusammengesetzte Mikroskop von **Culpeper** und **Scarlet** in London (Fig. 69) ebenfalls einen Spiegel*). Neu ist aber bei diesem Mikroskope die Beigabe eines Kegels *A* aus Ebenholz, der unten an den Objecttisch kommen kann, um dadurch das Licht zu mässigen. Dieses Mikroskop, welches lange Zeit hindurch im allgemeinen Gebrauche blieb, hat übrigens eine sehr einfache Einrichtung, wie man aus der Abbildung auch ohne weitere Erklärung ersieht. Die Abänderung des Abstandes zwischen Objectiv und Object wird dadurch bewirkt, dass das Rohr *a*, welches in dem weiteren Rohre *b* gleitet, mehr oder weniger ausgezogen wird, oder dass die Schraube umgedreht wird, wodurch das die Objectivlinse enthaltende Röhrchen *c* an den engeren Theil des Mikroskoprohres befestigt ist. Diese Bewegungsmittel waren freilich wenig geeignet zu einer feinen Einstellung. Aber auch in anderen Hinsichten erschien das Gestell dieses Mikroskopes nicht ganz zweckmässig, und das war der Grund, weshalb **Cuff**, die von **Baker** (*Employment for the Microscope*. London. 1753) gegebenen Winke benutzend, eine andere Einrichtung einführte, welche bei den meisten

Fig. 69.



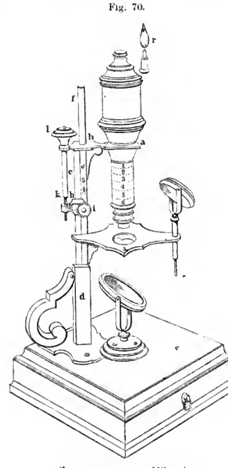
Zusammengesetztes Mikroskop von Culpeper und Scarlet.

*) Genau kann ich die Zeit nicht angeben, wann dieses sogenannte doppelt reflectirende oder Spiegelmikroskop in England verfertigt worden ist. Die erste Nachricht darüber finde ich bei Smith (*Opticks*, II. 407), also vom Jahre 1735. Den im Jahre 1739 erschienenen *Beginsels der Natuurkunde door Petrus van Musschenbroek* ist ein Preiscourant der Instrumente seines Bruders Johannes angehängt, und hier werden ausser den oben (S. 42) besprochenen einfachen Mikroskopen noch aufgeführt: a) ein Apparat mit neun Vergrösserungsgläsern, um durch ein Glas oder durch zwei Gläser zugleich zu sehen; b) ein neuer Doppelapparat, hoch und unten mit einem Spiegel versehen, womit man durch drei Gläser zugleich die Objecte sieht. Das letztere Instrument war also ein zusammengesetztes Mikroskop, das mit einem Beleuchtungsspiegel versehen war. Man hat denselben also in Holland angewandt, bald nachdem diese Verbesserung in England eingeführt worden war.

Stativen späterer Mikroskope, ja selbst bei vielen der jetzt noch gebräuchlichen zu Grunde gelegt wurde *).

Bei Cuff's zusammengesetztem Mikroskope (Fig. 70) hängt das Rohr unbeweglich in dem Ringe *a* am Arme *b*, der oben an der Stange *c* sitzt. Ein messingenes vierseitiges Rohr *d*, welches auf dem Kästchen *e* festgeschraubt ist, trägt das ganze Instrument mittelst der abgeplattet vierseitigen Stange *f*, welche unbeweglich darin steckt. Dagegen ist die kürzere Stange *c*, die den Arm *b* mit dem Mikroskoprohre trägt, beweglich; sie gleitet auf der breiten Seite der Stange *f* und tritt nach unten in das Rohr *d*. Das vierseitige Band *h* vereinigt die beiden Stangen *c* und *f* und kann durch die Klemmschraube *i* festgestellt werden. Es wird nämlich die Stange *c* nach oben geschoben, bis der obere Rand des Bandes *h* einer der eingeschnittenen Linien 4, 5, 6 u. s. w. entspricht, durch welche so ziemlich die Brennweite der verschiedenen Objective angegeben ist, und dann wird das Band *h* durch die Schraube festgestellt. Neben dieser gröberen Einstellung ist aber auch noch eine feinere angebracht durch die Schraube *k*, welche mit dem geränderten Knopfe *l* versehen ist. Die Einrichtung des Objecttisches, des Spie-

Fig. 70.



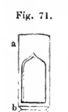
Zusammengesetztes Mikroskop von Cuff.

---

*) Ich will bemerken, dass Mayen (*Kurzer Unterricht von der Beschaffenheit und dem Gebrauche der Vergrösserungsgläser und Teleskopien.* Dresden 1747. S. 16) angiebt, es sei dieses Stativ von dem englischen Künstler George Sterrop

gels u. s. w. erhellt genugsam aus der Figur und bedarf keiner besonderen Beschreibung. Ich habe nur noch hinzuzufügen, dass bei diesem Mikroskope auch das concave Spiegelchen (Fig. 71) für undurchsichtige Objecte benutzt wurde, das früher allein beim einfachen Mikroskope angewendet wurde. Dieser Hohlspiegel *b* wurde unten an eine zu beiden Seiten theilweise offene Röhre *a* befestigt, die je nach der Brennweite des benutzten Objectives höher nach oben oder weiter nach unten über den engeren Theil des Mikroskoprohres geschoben wurde und zu diesem Zwecke waren daran mehrere den verschiedenen Objectiven entsprechende Linien eingeschnitten.

Fig. 71.



Hohlspiegelchen für auffallendes Licht zu Cuff's Mikroskope.

Von jetzt an nahm die Zahl der Mikroskopverfertiger in den verschiedenen Ländern Europas so sehr zu, dass es nicht möglich ist, bei einem jeden ausdrücklich zu verweilen und die verschiedenen oftmals unbedeutenden Modificationen anzuführen, die sie in dem einen oder dem anderen Abschnitte des mikroskopischen Apparates eintreten liessen. Nur auf die bedeutenderen Mikroskopverfertiger lasse ich mich ein, namentlich auf jene, deren Mikroskope zumeist in Gebrauch gewesen sind, oder die einigermaassen erhebliche Verbesserungen oder Beigaben ersonnen haben. 49

Von Steiner ist schon oben (S. 51) angeführt worden, dass er das Wilson'sche einfache Mikroskop mit einer geringen Veränderung nachmachte; derselbe hat aber auch damit ein *Microscopium universale* hergestellt, d. h. ein solches, welches nach Willkür als einfaches oder als zusammengesetztes Mikroskop in Gebrauch gezogen werden konnte. Zu dem Ende brachte er über die Linsen des einfachen Mikroskopes ein Rohr, worin die beiden Oculare enthalten waren; das Rohr aber wurde an einer besonderen Stange befestigt, die auf jene des einfachen Mikroskopes kommen konnte. Siehe die von Steiner besorgte Uebersetzung von Baker: *Das zum Gebrauch leicht gemachte Microscopium* u. s. w., *dem beigefüget eine Nachricht vom Polypo.* und L. Steiner's *Beschreibung seines neuerfundenen Universal-Microscopii.* Zürich. 1756.

Eine ähnliche Einrichtung machte Jacob Lommers in Utrecht, mit

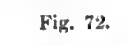
erfunden worden, und auf Tafel VI bildet er dann als solches genau das Cuff'sche Mikroskop ab, das man bei ihm um einen billigen Preis erhalten könne. Ueber die Richtigkeit dieser Angabe vermag ich nicht zu entscheiden. Wie es sich aber auch damit verhalten mag, wenigstens ist dieses Mikroskop späterhin allgemein als Cuff'sches bekannt geworden, und dazu mag die grosse Verbreitung des Werkes von Baker, welches in verschiedene Sprachen übersetzt wurde, viel beigetragen haben.

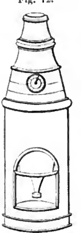
Digitized by Google

dem Unterschiede jedoch, dass das die Oculare enthaltende Rohr unmittelbar auf jenes Rohr geschraubt wurde, welches die Linse umschloss. Ich habe zwei solche Instrumente von Lommers gesehen, das eine mit der Jahreszahl 1751, das andere mit der Jahreszahl 1760.

Ein anderes *Microscopium universale* ersann sich von Gleichen. Dasselbe findet man bei Ledermüller (*Mikr. Gemüths- und Augenergötzung* u. s. w.) umständlich beschrieben und abgebildet. Seine Einrichtung war aber gewiss nicht so zweckmässig als bei den bereits genannten.

Um die nämliche Zeit wurden in England von Benjamin Martin, einem Manne, der theoretisches Wissen mit praktischer Erfahrung vereinigte, mehrerlei Mikroskope verfertigt. Sein Taschenmikroskop (*Description and use of a Pocket reflecting Microscope.* London, 1739. *Philosophia Britannica.* 1740. III, Tab. 46 *), welches in Fig. 72 dargestellt ist, war sehr einfach zusammengesetzt, und es war ihm ein Schraubenmikrometer beigegeben, worauf ich später zurückkomme. In diesem Martin'schen Mikroskope erkennt man übrigens die erste gröbere Form vieler Mikroskopgestelle, die noch in späterer Zeit im Gebrauche geblieben sind.


Fig. 72.


Martin's Taschenmikroskop.

Martin beschrieb auch ein Mikroskop, wo sich zwischen den beiden biconvexen Objectiv- und Ocularlinsen ein biconcaves Glas befand (*System of Opticks.* 1740. p. 212). Diese Einrichtung war aber nicht neu. Wir haben gesehen, dass sie schon an Fontana's Mikroskope vorkam, und vor Martin hatte auch noch Conradi (*Dreifacher Sehestrahl.* Koburg 1710. S. 109) ein Mikroskop in dieser Art eingerichtet. Auch das von Martin (*New Elements of Opticks.* 1759. p. 50) beschriebene Mikroskop mit vier Linsen konnte nicht auf Neuheit Anspruch machen, da schon früher (S. 103) dergleichen verfertigt wurden. Endlich können auch die sogenannten polydynamischen Mikroskope Martin's (*Microscopium polydynamicum, or a new construction for the Microscope.* London 1771) nicht als seine Erfindung gelten; es waren dies nur Fernrohre, die man durch Ausziehen der Rohre in Mi-

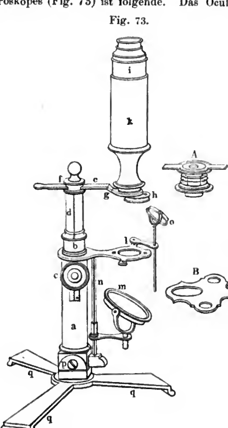
*) Am Ende dieses Bandes der *Philosophia Britannica* steht, das *New invented Pocket reflecting Microscope* mit dem Mikrometer zusammen koste 1 Guinee, und ohne den letzteren 10 Schilling 6 Pence. J. William (*Quart. Journ. of microscop. Sc.* 1863. N. S. IX. *Transact.* p. 1) hat eine kurze Lebensskizze Benj. Martin's gegeben; darin kommt ein Katalog seiner Instrumente vor, worin das grosse Universalmikroskop mit 5 Pfd. 5 Schilling angesetzt ist. Die englischen Mikroskope waren also damals wohlfeiler als jetzt.

Digitized by Google

kroskope verwandelte, und das war schon viel früher bekannt gewesen und von Wolf (*Elementa Dioptrices*, §. 454) anempfohlen worden.

Dagegen unterscheidet sich sein Neues Universalmikroskop in manchen Hinsichten von den Instrumenten seiner Vorgänger. Die erste Beschreibung und Abbildung desselben fällt auf das Jahr 1759 (*Philosophia Britannica*. III, p. 400). Er verbesserte es aber weiterhin noch und in der *Description of a New Universal Microscope*. London 1776, gab er davon eine neue Beschreibung *). Die optische Einrichtung dieses Mikroskopes (Fig. 73) ist folgende. Das Ocular besteht aus drei planconvexen Gläsern, von denen die beiden oberen einander die Convexität zukehren. Zwischen dem Oculare und der biconvexen Objectivlinse befindet sich aber noch eine planconvexe Linse, so dass es im Ganzen fünf Linsen sind. Die mechanische Einrichtung ist auch in mehr denn einer Hinsicht eine andere als beim Cuff'schen Mikroskope. Das Stativ *a* ist eine runde hohle Säule oder Röhre (bei anderen Martin'schen Mikroskopen ist es aber auch dreiseitig, wie bei Plössl's Mikroskopen); darin wird ein zweites Rohr *b*, welches gezahnt ist, durch den geränderten Knopf *c* auf und niederbewegt; in dem zweiten Rohre aber steckt wieder ein drittes *d*, mittelst dessen die gröbere Einstellung erzielt wird. Das dritte Rohr trägt den Arm *e* mit dem Mikroskoprohre, und

Fig. 73.



Universalmikroskop von Benj. Martin.

*) In der Vorrede zu dieser Beschreibung gedenkt Martin eines kleinen zusammengesetzten Mikroskopes, mit dessen Verfertigung er sich damals beschäf-

dieser Arm lässt sich in dem Ausschnitte bei *f* hin- und herschieben. Das Mikroskoprohr wird in den Ring *g* geschraubt, und unter diesem befindet sich eine drehbare Scheibe *h* mit sechs Objectivlinsen von verschiedener Brennweite. Man kann aber auch diese Scheibe wegnehmen und anstatt derselben verschiedene in Röhrchen gefasste Objectivlinsen unten an den Ring anschrauben. Das Mikroskoprohr besteht eigentlich wieder aus zwei Röhren *k* und *i*; die innere Röhre *i* umschliesst die drei Augengläser und lässt sich ausziehen, um die Entfernung zwischen dem Objective und dem Oculare zu vergrössern. (An manchen Martin'schen Mikroskopen hat das äussere Rohr eine Rinne und eine gezahnte Stange und die innere ist mit einem Triebe versehen, so dass sich die innere Röhre durch Umdrehen eines geränderten Knopfes höher und tiefer stellen lässt.)

Der Objecttisch *l* hat eine grosse Oeffnung, um mehrere zu diesem Mikroskope gehörige Hülfswerkzeuge einsetzen zu können, z. B. die bei *A* abgebildete Klemmfeder, oder die bei *B* dargestellte freie Objecttafel mit drei Oeffnungen von verschiedenem Durchmesser; ferner auch eine durch ein Rad und einen Trieb sich umdrehende Objecttafel, sowie ein Schraubenmikrometer, auf welche beide noch weiterhin zurückzukommen ist.

Der Spiegel *m* ist an einem besonderen Arme angebracht, der an der Stange *n* auf- und niedergleitet, und auch herumgedreht werden kann, wenn das Licht schief auf das Object fallen soll. Zur Verstärkung des Lichtes kann noch eine besondere, in der Figur nicht mit aufgenommene Linse unter den Objecttisch kommen. Für auffallendes Licht aber ist die Linse *o* bestimmt.

Endlich kann dieses Mikroskop nicht blos vertical gestellt werden, sondern es kann auch in die horizontale oder in andere dazwischen liegende Stellungen kommen, indem sich bei *p* ein Charnier befindet, wodurch das Stativ mit dem Dreifusse *qqq* in Verbindung steht.

Will man ein einfaches Mikroskop haben, so braucht man nur das Mikroskoprohr aus dem Ringe *g* herauszunehmen und es durch eine zum Mikroskope gehörige einfache Linse zu ersetzen, deren Röhrchen in die Oeffnung des Ringes passen.

Ich habe bei Untersuchung eines solchen Martin'schen Mikroskopes folgende Werthe gefunden:

Abstand des obersten Oculares von der Objectivlinse
bei ausgezogenem Verlängerungsrohre . . . 29 Centimeter

tigte, welches die Objecte 2000 bis 5760 Mal im Durchmesser vergrösserte, und dem er den Namen *des Virtuosen optischer Apparat* zugedacht hatte. Es ist mir unbekannt, ob dieses Mikroskop jemals aus Martin's Händen gekommen ist. Die so starke Vergrösserung lässt vermuthen, dass keine Linsen, sondern kleine Glaskügelchen als Objective benutzt wurden.

Abstand ohne Ausziehung des Verlängerungsrohres .	22 Centimeter
Brennweite der stärksten Linse des Mikroskopes . .	5,8 Millimeter
Oeffnungswinkel dieser Linse	11°
Grösse des Gesichtsfeldes für 25 Centimeter Sehweite	204 Millimeter
Vergrösserung mit der stärksten Linse bei der nämlichen Sehweite ohne Benutzung des Verlängerungsrohres	148 Mal
Desgl. mit Benutzung des Verlängerungsrohres . .	220 „

Die Bilder haben nur eine geringe Schärfe. Auch auf den Schüppchen solcher Schmetterlinge, wo die Streifen, wie bei *Noctua nupta*, leicht zu erkennen sind, bemerkt man keine Spur davon; ebensowenig erkennt man die Striche der ersten Gruppe eines Nobert'schen Probetäfelchens. Dagegen sind die zum einfachen Mikroskope gehörenden Linsen scharf und hell. Die beiden stärksten vergrössern 128 und 198 Mal.

In England haben sich weiterhin im achtzehnten Jahrhunderte noch 50
die beiden Adams (Vater und Sohn), Jones, Dollond (Vater und Sohn), Mann als Mikroskopverfertiger ausgezeichnet.

Ueber das Lampenmikroskop der Adams ist hier nicht der Ort zu sprechen. Ihre zusammengesetzten Mikroskope gehören aber zu den besten jener Zeit. Sie sind nach dem Muster des Cuff'schen Mikroskopes eingerichtet, nur wird nicht der Mikroskopkörper, sondern der Objecttisch durch ein Triebwerk auf- und niederbewegt. Zur Beleuchtung dient ein Spiegel, der auf der einen Seite eben, auf der anderen concav ist. Später nahm der jüngere Adams mit den Objectivlinsen die Veränderung vor, dass sie nicht in besondere Röhrchen, sondern in eine messingene Scheibe gefasst wurden, die man in einen unten am Mikroskopkörper dafür angebrachten Ausschnitt schob. Mittelst einer Stahlfeder, welche in die kleinen Einkerbungen eingriff, die in bestimmten Entfernungen an der messingenen Scheibe angebracht waren, kam die Objectivlinse immer in die Axe des Mikroskopes zu liegen.

Bei Untersuchung eines Mikroskopes vom älteren Adams erhielt ich folgende Werthe:

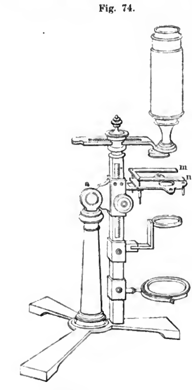
Brennweite der stärksten Linse Nr. 1	3,2 Millimeter
Abstand des obersten Oculares von der Objectivlinse	13 Centimeter
Durchmesser des Gesichtsfeldes bei 25 Centimeter Sehweite	16 „
Vergrösserung mit der Linse Nr. 1	150 Mal.

Bei dieser Vergrösserung sieht man die Längsstreifen auf den Flügelschüppchen von *Noctua nupta* ziemlich gut. Dieses Mikroskop zeichnet sich also vor dem Martin'schen durch grössere Helligkeit und grössere Schärfe des Bildes aus; dagegen steht es hinsichtlich der Grösse des Gesichtsfeldes diesem nach.

Digitized by Google

Die früheren Mikroskope von **Jones** stimmen grossentheils mit jenen von **Adams** überein. Eine spätere Verbesserung von **Jones** (Fig. 74) bestand darin, dass er den Körper des Mikroskopes, den Objecttisch und den Spiegel an einer besonderen Stange befestigte, die durch ein Charnier *a* mit dem Stative verbunden ist, so dass das Instrument horizontal gegen das Licht gestellt werden kann. Er hatte dabei das nämliche Ziel vor Augen, wie **Martin**; seine Einrichtung jedoch war eine bessere, weil das Charnier höher oben angebracht ist, mithin das Mikroskop in der horizontalen Stellung sich mehr in gleicher Höhe mit dem Auge des Beobachters befindet, und bei schiefer Stellung besser equilibrirt ist. Dieser Theil des **Jones**'schen Mikroskopgestelles ist auch bei den späteren englischen Mikroskopen meistens beibehalten worden.

Fig. 74.



Mikroskop von Jones.

Die mechanische Einrichtung der Mikroskope von **James Mann** ist in der Hauptsache ganz so wie bei **Jones**. Was ihr optisches Vermögen anbetrifft, so scheinen sie für die Zeit ihrer Anfertigung sehr gut gewesen zu sein. **Meyen** (*Die neuesten Fortschritte der Anatomie und Physiologie der Gewächse.* 1836. S. 2), der seine ersten phytotomischen Beobachtungen noch mit einem **Mann**'schen Mikroskope anstellte, rühmt es wenigstens sehr.

Auch die **Dollond**'schen Mikroskope aus jener Zeit hatten ziemlich die gleiche Einrichtung wie jene von **Jones**. Nur das verdient bemerkt zu werden, dass **Dollond** das **Huygens**'sche Ocular benutzte; er scheint dies zuerst gethan zu haben (**Chevalier**, *Notes rectificatives* etc. p. 25).

51 In Deutschland wurde mittlerweile das **Cuff**'sche Mikroskop von **Ring** und **Vennebruch** in Berlin nachgemacht. **Reinthaler** in Leipzig verfertigte auch dergleichen, jedoch mit der Veränderung, dass der

Digitized by Google

Körper des Mikroskopes nicht durch eine Schraube, sondern durch einen Trieb sich auf- und niederbewegte (Krünitz's *Encyclopädie.* Art. Mikroskop. S. 266). Auch das zusammengesetzte Mikroskop von Burucker in Nürnberg, welches bei Ledermüller (*Mikroskop. Gemüths- und Augenergötzungen*) umständlich beschrieben wird, stimmt in der Hauptsache mit dem Cuff'schen Mikroskope.

Einen besonderen Ruf erwarb sich der Augsburger Brander (*Beschreibung zweier zusammengesetzter Mikroskope.* Augsb. 1769, und *Beschreibung und Abbildung eines Universalmikroskopes*, mit acht colorirten Kupfern. Nürnb. 1776) durch seine Mikroskope. Das eine von den zuerst beschriebenen Mikroskopen hat ziemlich die nämliche Einrichtung wie das Martin'sche Taschenmikroskop (S. 116), und ist auch wie dieses mit einem Schraubenmikrometer versehen; das andere stimmt zum grossen Theile mit dem Cuff'schen Instrumente überein. Eine daran angebrachte Verbesserung hat sich mit ein Paar Modificationen bis auf unsere Zeit erhalten: den bis dahin gebräuchlichen Objecthalter mit der Spiralfeder, wie er zuerst am einfachen Mikroskope Hartsoeker's (S. 41) vorkommt, vertauschte Brander mit einer hufeisenförmigen Platte, und zwischen dieser und dem Objecttische wurde die kleine Tafel oder Scheibe mit dem Objecte eingeschoben und befestigt. Nach Brander's eigener Angabe vergrösserten seine Mikroskope bei 8 Zoll Sehweite nicht über 120 Mal.

In Frankreich hatte schon zwei Jahre früher der Duc de Chaulnes (*Mém. de l'Acad. des Sc.* 1767, p. 423, und *Description d'un Microscope et de differents Micromètres.* Par. 1768) ein Mikroskop hergestellt, das sowohl in der optischen Einrichtung wie in der Bewegungsweise zum Objecte sich nicht wesentlich vom Cuff'schen unterschied. Nur war es ausdrücklich zu genauen mikrometrischen Messungen bestimmt, und deshalb wird die nähere Beschreibung auf das Capitel von den Mikrometern verspart.

In der eigentlichen optischen Zusammensetzung der Mikroskope 52
hatte man seit Anfang des achtzehnten Jahrhunderts keinerlei bemerkenswerthe Verbesserung angebracht; man war vielmehr von dem Wege abgeirrt, welcher dazu führte und worauf Einzelne in gewisser Beziehung schon zu Ende des 17. Jahrhunderts hingewiesen hatten (S. 102). Inzwischen hatten die Fernrohre durch das Achromatisiren der Objectivgläser eine höchst wichtige Verbesserung erfahren. Allein man verzweifelte daran, dass man diese auch bei dem Mikroskope werde erlangen können, worüber bald ausführlicher gehandelt werden soll.

Indessen durfte man erwarten, dass auch ohne das Achromatisiren der Linsen eine Verbesserung möglich sein werde, wenn bei den Krümmungen der Linsen und bei deren Abständen, so wie in Betreff der Anzahl der Linsen Einrichtungen getroffen würden, wodurch man wenigstens die Wir-

kungen der sphärischen Aberration möglichst beseitigte. Auf diesen Punkt richtete Euler die Aufmerksamkeit, und wir verdanken ihm eine Reihe von Untersuchungen darüber, die jetzt noch keineswegs ohne Interesse sind *).

Es scheinen aber die von Euler vorgeschlagenen Verbesserungen bei den praktischen Optikern wenig Eingang gefunden zu haben, wahrscheinlich wegen der wissenschaftlichen Form, in der sie vorgetragen wurden. Die von ihm empfohlenen Doublets, von denen schon oben die Rede war, und die er auch als Objective im zusammengesetzten Mikroskope benutzt haben wollte, scheint man niemals construirt zu haben. Ob jemals ein Mikroskop mit sechs Linsen ganz nach seiner Vorschrift gebaut wurde, ist mir nicht bekannt. Dass Grindl schon 1685 ein Mi-

---

*) *Règles générales pour la construction des télescopes et des microscopes de quelque nombre de verres qu'ils soient composés* in den *Mémoires de l'Académie de Berlin.* 1757. XII, p. 283. In dieser Abhandlung bestimmt Euler aus theoretischen Gründen die Krümmungen, die Abstände und die Oeffnungen der Linsen in Mikroskopen, worin eine bis fünf Linsen enthalten sind. Denselben Gegenstand unter gleichem Titel behandelt er dann noch einmal in den *Mém. de Berlin.* 1761. XVII, p. 201.

Détermination du champ apparent que découvrent tant les télescopes que les microscopes in *Mém. de Berlin.* 1761. XVII, p. 191. Hier berechnet Euler die Grösse des Gesichtsfeldes, und an welcher Stelle sich das Auge bei dioptrischen Instrumenten, die eine bestimmte Anzahl Gläser enthalten, befinden müsse.

Recherches sur les microscopes à trois verres et les moyens de les perfectionner in *Mémoires de Berlin.* 1764. XX, p. 117. Nachdem Euler bereits in einer früheren Abhandlung (S. 61) nachgewiesen hatte, welche Vortheile es bietet, wenn man im einfachen Mikroskope zwei Linsen vereinigt, wendet er hier das nämliche Princip auch auf das Objectiv des zusammengesetzten Mikroskopes an, und in Tabellen bestimmt er die Krümmungen der Linsen, deren Oeffnungen und wechselseitige Abstände.

De novo microscopiorum genere ex sex lentibus composito in den *Novi Commentarii Acad. Petrop.* 1768. XII, p. 195. Hier verbreitet sich Euler über die Vorzüge eines aus sechs Linsen zusammengesetzten Mikroskopes, und er berechnet ihre Krümmungen, ihre Oeffnungen und Abstände für Mikroskope, welche 600, 2000 und 4000 Mal im Durchmesser vergrössern sollen. Ein solches Mikroskop sollte so construirt werden, dass auf die Objectivlinse dort, wo sie das Bild erzeugt, eine Linse mit weiter Oeffnung folgt, dann in einiger Entfernung eine stärker vergrössernde Linse mit sehr geringer Oeffnung, zuletzt aber drei über einander befindliche eigentliche Oculare kommen. Auch hier sollte die Objectivlinse überdies noch ganz gut aus zwei vereinigten Linsen bestehen können. Für Mikroskopenverfertiger war dieser Abhandlung noch eine Tabelle angehängt, worin die Krümmungen und die Abstände der Linsen für Doppelobjective von 1 Zoll bis $^1/_{20}$ Zoll Brennweite verzeichnet sind.

Den Inhalt dieser verschiedenen Abhandlungen findet man auch, und zwar vermehrt, in Euleri *Dioptrica*, T. III. wieder, so wie in Klügel's *Dioptrik*.

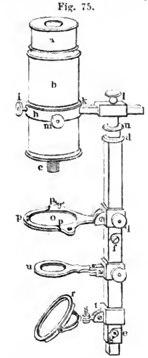
Ueber Euler's Vorschlag, die Objectivlinse der Mikroskope zu achromatisiren, wird noch weiterhin gesprochen werden.

Digitized by Google

kroskop mit sechs Linsen herstellte, wurde oben (S. 103) erwähnt; aber auch nach Euler wurden von Dellebarre in Leyden Mikroskope mit sechs Linsen verfertigt. In dem bei der französischen Akademie über diese letzteren Mikroskope abgestatteten Berichte heisst es ausdrücklich, Dellebarre habe den von Euler gemachten Vorschlag verwirklicht. Hätte sich freilich die Commission, welche diesen Bericht erstattete, die Mühe gegeben, mehr als den blossen Titel von Euler's Abhandlung zu lesen, so würde sie sich alsbald überzeugt haben, dass die Einrichtung von Dellebarre's Mikroskopen mit jener von Euler empfohlenen nichts gemein hatte als die Anzahl von Linsen. Es sollte z. B. Euler's Ocular aus drei Linsen bestehen, und das von Dellebarre bestand aus vier Linsen.

Dellebarre's Mikroskope haben lange Zeit in hohem Rufe gestanden. Dieser Ruf nahm noch besonders zu, als Lalande, der 1762 Holland bereiste und seine Instrumente sah, ihn einlud, nach Frankreich zu kommen, wo er viele Mikroskope verkaufte (Montucla, *Hist. des Mathémat.* III, pag. 511). Die Dellebarre'schen Mikroskope kosteten 360 Francs. Im Jahre 1777 legte er der französischen Akademie eine Abhandlung über Mikroskope im Allgemeinen und über die seinigen im Besonderen vor, und er gab auch noch eine besondere Beschreibung derselben heraus (*Mémoires sur les différences de la construction et des effets du Microscope.* 1777). Der an die Akademie erstattete Bericht fiel sehr zu Gunsten Dellebarre's aus, in seinen Mikroskopen sollten viele neue Vorzüge mit denjenigen aller früheren Mikroskope vereinigt sein.

Fig. 75.



Zusammengesetztes Mikroskop von Dellebarre.

Ist auch das Lob, welches den Mikroskopen Dellebarre's von der Pariser Akademie ertheilt wurde, nicht frei von Uebertreibung, dieselben besitzen gleichwohl einige Eigenthümlichkeiten, wodurch sie sich vor den meisten der damaligen Zeit auszeichneten (Fig. 75). Das Ocular enthält vier Gläser, die alle zusammen oder Paarweise benutzt werden können. Jedes Paar besteht aus einer Flintglaslinse und einer grünlichen Kronglaslinse. Alle sind biconvex und so vereinigt, dass ihre Oberflächen einander sehr nahe sind. Zwischen der Objectivlinse und dem Oculare befindet sich noch ein biconvexes Zwischenglas. Letzteres ist an ein Rohr geschraubt,

in welches von oben das Rohr *a* mit den Augengläsern geschoben wird. das sich aber selbst wieder in einem anderen Rohre *b*, woran unten die Objectivlinse bei *c* befestigt wird, auf- und niederschieben lässt, um auf diese Weise das Mikroskoprohr zu verlängern.

Ausserdem unterscheidet sich die mechanische Einrichtung dadurch, dass die Stange *de*, welche auf einem nicht mit abgebildetem Dreifusse ruht, durch zwei Charniergelenke bei *f* und bei *g* sich horizontal stellen lässt. Die Röhre *b* mit dem optischen Apparate hängt in dem Ringe *h* und wird hier durch die Klemmschrauben *i* und *m* befestigt. Dieser Ring ist mit der vierseitigen Stange *k* fest verbunden, welche in dem hohlen vierseitigen Stücke *l* vorwärts und rückwärts gleiten kann; mit dem Stücke *l* aber steht wieder der runde Theil *n* in Verbindung, woran sich ein Vorsprung befindet, der in eine Oeffnung oben an der Stange *de* passt und sich spindelförmig darin dreht, damit das Mikroskoprohr über alle Punkte des Objecttisches *o* gebracht werden kann. Dieser Objecttisch ist ringförmig und trägt in einer kreisförmigen Grube eine runde Glasplatte. Zum Festhalten der Objecte ist eine hufeisenförmige Stahlfeder bestimmt, die bei *p* auf den Rand des Objecttisches befestigt ist. Das Object wird der Objectivlinse durch ein Triebwerk genähert, dessen geränderter Knopf bei *q* sichtbar ist.

Zur Beleuchtung dient ein concaver und ein ebener Spiegel *r*, welche durch die Charniere *s* und *t* in allen Richtungen sich bewegen lassen. Zwischen den Spiegel und das Object aber kann eine Linse *u* gebracht werden, welche das Licht concentrirt. — Endlich gehört zum Dellebarre'schen Mikroskope noch ein hohler Metallspiegel zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte; derselbe ist merklich grösser als die bisher gebräuchlichen, und bei schwächeren Vergrösserungen entspricht er auch in der That seinem Zwecke besser.

Bei der Einrichtung seines Mikroskopes hatte Dellebarre hauptsächlich im Auge, durch verschiedene Combinationen der Augengläser und durch Verlängerung der Mikroskopröhren eine Anzahl verschiedener Vergrösserungen herauszubringen. Auch suchte er ein möglichst grosses Gesichtsfeld zu bekommen. Dass er diese beiden Zwecke wirklich erreicht hat, wird aus den folgenden Bestimmungen ersichtlich, die ich blos mit der stärksten Objectivlinse ausgeführt habe, welche bei dem geprüften Instrumente 2,5 Millimeter Brennweite und einen Oeffnungswinkel von 22° hatte.

Die Entfernung des obersten Oculars vom Objectivglase beträgt 15 Centimeter, wenn das Verlängerungsrohr nicht ausgezogen ist, dagegen 22 Centimeter, wenn dieses Ausziehen stattgefunden hat.

	Oculare		
	Nr. 3 u. 4	Nr. 1 u. 2	Nr. 1, 2, 3 u. 4
Vergrösserung mit Zwischenglas, ohne Ausziehung des Verlängerungsrohres .	230	290	440
Desgl. mit Zwischenglas und mit Ausziehung des Verlängerungsrohres . . .	280	350	490
Desgl. ohne Zwischenglas und mit Ausziehung des Verlängerungsrohres . .	590	840	1170
Durchmesser des Gesichtsfeldes	22,5 Ctm.	36,5 Ctm.	40 Ctm. *)

Mit jeder Objectivlinse kann man also wenigstens neun verschiedene Vergrösserungen herausbringen, und dabei ist das Gesichtsfeld so gross, dass in dieser Hinsicht alle früheren Mikroskope, ja selbst neuere Instrumente, dem Dellebarre'schen nachstehen. Wie aber schon die ganze Einrichtung voraussehen lässt, so fehlt viel daran, dass die Objecte sich überall mit gleicher Deutlichkeit im Gesichtsfelde darstellen. Nur die Mitte des Gesichtsfeldes eignet sich zur eigentlichen Beobachtung. Hier erkennt man bei einer 440maligen Vergrösserung recht deutlich die längslaufenden Striche auf den öfters genannten Schüppchen von *Noctua nupta*, dagegen keine Spur von den feinen Querstreifchen. An Nobert'schen Probetäfelchen unterscheidet man die Striche der zweiten Gruppe noch ganz gut, unvollkommen dagegen die Striche der dritten Gruppe. Wenn durch Ausziehen des Ocularrohres oder aber durch Entfernung des Zwischenglases stärker vergrössert wird, so wächst das optische Vermögen um gar nichts.

Bei der gleichen Vergrösserung wurden auch die äussersten Grenzen der Sichtbarkeit und Unterscheidbarkeit der Objecte bei durchfallendem Lichte bestimmt, auf die früherhin (I. S. 328) angegebene Weise. Die Grenzen der Sichtbarkeit waren für:

kugelrunde Objecte . . . $0{,}767^{\mathrm{mmm}} = {}^{1}/_{1300}$ Millim.
fadenförmige „ . . . $0{,}145^{\mathrm{mmm}} = {}^{1}/_{6900}$ „

Bei einem Drahtgeflechte waren die Grenzen der Unterscheidbarkeit für:

die Drähte . . . . . . $0{,}672^{\mathrm{mmm}} = {}^{1}/_{1490}$ Millim.
die Maschenräume . . . $1{,}010^{\mathrm{mmm}} = {}^{1}/_{990}$ „

*) Eigentlich ist das Gesichtsfeld noch grösser; es lässt sich aber kein grösserer Raum übersehen. Die angegebene Grösse des Gesichtsfeldes setzt schon einen Gesichtswinkel von 78° voraus.

Vergleichen wir nun Dellebarre's Mikroskop mit jenem von Adams und von Martin, so hat es im optischen Vermögen unzweifelhafte Vorzüge vor diesen, wenngleich es in der mechanischen Einrichtung den englischen Instrumenten nachsteht. Fragen wir dann ferner, weshalb die Objecte durch dieses Mikroskop sich deutlicher darstellen, so überzeugen wir uns leicht, dass nicht sowohl die eigenthümliche Zusammensetzung des Oculares dabei in Betracht kommt, sondern einzig und allein der Umstand, dass Dellebarre Objectivlinsen mit einer kürzeren Brennweite benutzte. Bringt man diese an die eben genannten englischen Mikroskope, so bekommt man mit diesen gleich scharfe Bilder wie bei Dellebarre. Das ist aber auch zugleich der Hauptgrund, warum die letzteren stärker vergrösserten.

53 Ein Zeitgenosse von Dellebarre war der Hannoveraner Samuel Gottlieb Hoffmann, dessen Mikroskope damals in Deutschland sehr gesucht waren. Er beschrieb sie 1772 in der *Altonaer Zeitung*, und späterhin wurden sie von Goeze (*Hannoversches Magazin*, 10. Jahrgang, Krünitz's *Encyclopädie* Bd. 90, S. 310) sehr gerühmt. Goeze spricht von einer Einrichtung, wodurch das Gesichtsfeld dieses Mikroskopes grösser und kleiner gemacht werden konnte; er nennt aber das hierzu verwandte Mittel nicht. Mit sechs Objectivlinsen konnten zwölf verschiedene Vergrösserungen erzielt werden (wahrscheinlich durch Ausziehen der Röhren); die stärkste Vergrösserung war 370 Mal.

Einige Jahre später erschien die Beschreibung des Mikroskopes von Johann Heinrich Tiedemann (*Beschreibung der von ihm verfertigten achromatischen Fernröhre, zusammengesetzten Vergrösserungsgläser* u. s. w. Stuttgart 1785; aufgenommen bei Krünitz l. c. S. 295). Ausser dem aus zwei Gläsern bestehenden Oculare enthielt es noch ein Zwischenglas; die am stärksten vergrössernde Objectivlinse hatte 1 Linie oder 2,2 Millimeter Brennweite; die Bewegung wurde durch einen Trieb bewirkt. Auch gehörte zu diesem Mikroskope ein besonderer, durch zwei Schrauben beweglicher Objecttisch. Als Fuss für das Stativ des Mikroskopes wurde der Boden des Kästchens benutzt, worin es nach stattgefundenem Gebrauche mittelst eines Charniers zusammengelegt verborgen lag. Beseke (*Beobacht. und Entd. d. Berl. Ges. naturforschender Freunde*, 1788. II, S. 117) stellte Tiedemann's Mikroskop unter allen Mikroskopen jener Zeit oben an, sowohl in der Brauchbarkeit der Gläser als in der mechanischen Einrichtung.

Unter denen, die am Ende des 18. und in den ersten Jahren des 19. Jahrhunderts in Deutschland als Verfertiger von Mikroskopen sich einen Namen gemacht haben, sind noch Wagener, Elkner, Junker und Weickert zu nennen; doch scheinen sie zu einer wirklichen Verbesserung des Instrumentes nichts beigetragen zu haben. Die beiden Letzt-

Digitized by Google

genannten legten sich im Besonderen darauf, die äussere Einrichtung zu vereinfachen und dadurch ihre Instrumente möglichst wohlfeil herzustellen, ohne dass sie an Brauchbarkeit verloren. Junker's Mikroskop ist in Voigt's *Magazin für den neuesten Zustand der Naturwissenschaft*, I, S. 139, beschrieben, jenes von Weickert in Gilbert's *Annalen*, 1811, Bd. 38, S. 345. Hedwig benutzte zu seinen bekannten Untersuchungen ein Mikroskop von Weickert.

Damals und auch noch späterhin wurden übrigens zusammengesetzte Mikroskope aus Pappe und Holz in grosser Anzahl fabrikmässig in Nürnberg verfertigt.

In Holland wurden ausser von Dellebarre, dessen Mikroskope bereits beschrieben worden sind, um jene Zeit noch von Herman und Jan van Deyl zusammengesetzte Mikroskope geliefert. Wir werden dieselben bald als die ersten kennen lernen, die ein brauchbares achromatisches Mikroskop herstellten; aber auch ihre früheren nach der alten Art verfertigten Mikroskope waren sehr gut, namentlich in optischer Beziehung, und hatten dabei eine sehr einfache mechanische Einrichtung, die etwa mit jener des späteren achromatischen Mikroskopes von Jan van Deyl übereinstimmt. Ich habe ein von ihnen kommendes Instrument zu untersuchen Gelegenheit gehabt: die Brennweite der stärksten Objectivlinse beträgt etwas über 2 Millimeter; an Helligkeit und Schärfe übertrifft es aber bei gleicher Vergrösserung (etwa 300 Mal) das Dellebarre'sche Mikroskop. Auch das verdient bemerkt zu werden, dass der Bügel, worin sich der Spiegel bewegt, am Ende einer um eine Axe drehbaren Krücke befindlich ist; der Spiegel lässt sich dadurch so stellen, dass die Lichtstrahlen auch in schiefer Richtung auf das Object fallen können, also ganz in der nämlichen Weise, wie man es bei vielen neueren Mikroskopen antrifft. 54

Ferner ist hier Hendrik Hen zu nennen, der gleich den Deyl's in Amsterdam wohnte. Sein zusammengesetztes Mikroskop von 1807 zeichnet sich durch Vollständigkeit, Festigkeit und sorgfältige Ausführung der mechanischen Einrichtung aus, wobei ihm offenbar das Martin'sche Mikroskop (S. 117), einige Modificationen abgerechnet, zum Vorbilde gedient hat. Die schwere runde Stange ruht auf einem Fussstücke mit drei verstellbaren Füssen; ein Triebwerk bewirkt das Auf- und Niederbewegen des Objecttisches; der Arm, woran das Mikroskoprohr befestigt ist, kann mittelst eines Rades und einer Schraube ohne Ende horizontal gedreht werden, und das ganze Mikroskop lässt sich durch ein besonders dazu bestimmtes Räderwerk horizontal stellen oder sonst in eine Richtung bringen. Zur optischen Einrichtung gehören: a) eine Messingplatte mit drei darin gefassten Linsen, die je nach der Befestigung der Platte unter dem Mikroskoprohre der Reihe nach durch Umdrehen unter die Oeffnung

desselben kommen können und als Objectivlinsen dienen; b) drei andere stärker vergrössernde Objectivlinsen in Messingröhrchen, von denen die stärkste eine Brennweite von reichlich 3 Millimeter hat; c) drei Objectivlinsen mit Metallspiegelchen zur Betrachtung undurchsichtiger Objecte; d) zwei verschiedene Ocularröhren, die eine mit zwei, die andere mit vier Gläsern. Der Spiegel ist auf der einen Seite eben, auf der anderen concav, und auch für schief einfallendes Licht eingerichtet. Eine Beleuchtungslinse kann unter den Objecttisch gebracht werden, und mittelst eines besonderen Apparates lässt sich auch eine Kerze am Mikroskope befestigen. Zur Beleuchtung bei auffallendem Lichte dient eine grosse Linse, und ausserdem ist auch noch der später zu erwähnende Swaving'sche Apparat beigegeben.

Aus dieser kurzen Beschreibung ist schon zu entnehmen, dass das Mikroskop von Hen sorgfältig gearbeitet war und das von Zeitgenossen ertheilte Lob verdiente. Ich selbst habe es nur in einer Auction physikalischer Instrumente kennen gelernt, zugleich aber auch bei dieser Gelegenheit in dem Kasten des Mikroskopes einen an den Verfertiger gerichteten und vom September 1807 datirten Brief A. Ypelaar's, der sich mit Anfertigung mikroskopischer Präparate beschäftigte, gefunden, worin der Schreiber versichert, noch kein Mikroskop gesehen zu haben, wodurch er im Ganzen in gleicher Weise befriedigt worden wäre, wie durch dieses. — Dass übrigens Hen ein sehr guter Arbeiter war, davon habe ich mich auch noch an einem von ihm kommenden Sonnenmikroskope überzeugt, von dem an geeigneter Stelle die Rede sein wird.

Endlich verfertigte um die nämliche Zeit auch Onderdewyngaart Canzius in Delft*) Mikroskope, die nach der Untersuchung, die ich mit einem dem Herrn Maitland zugehörigen Instrumente vornehmen konnte, in der mechanischen Einrichtung ebenfalls meistens eine Wiederholung des Martin'schen Mikroskopes waren. Wie bei den späteren Instrumenten des Letzteren besteht der Mikroskopkörper aus zwei weiten, durch

*) Dieser auch in manchen anderen Beziehungen verdienstvolle Mann errichtete 1798 in Delft eine Fabrik mathematischer, physikalischer, optischer, anatomischer und chirurgischer Instrumente, und im Jahre 1808 gab er in der *Nieuwe algemeene Konst- en Letterbode*. XIV, pag. 177 eine kurze Beschreibung dieser grossartig eingerichteten Fabrik. Unter anderen befand sich darin eine „vollständige Glasschleiferei, wo alle Gläser, convexe wie concave, deren man zu optischen Instrumenten bedarf, geschliffen wurden, und wo man nach einem ganz genauen Verfahren parallele und ebene Schliffe ausführte." Es heisst dort, es würden Linsen geschliffen von $1/8$ Zoll bis zu 96 Zoll Brennweite. Später, als Nordniederland mit Belgien zu einem Königreiche vereinigt war, wurde Onderdewyngaart Canzius zum Director des Museums für Kunst und Industrie in Brüssel ernannt. Nach der Trennung beider Länder blieb er an der Spitze der genannten Anstalt. Er starb den 10. Juli 1838 in Delft. (Siehe *Algemeene Konst- en Letterbode*. 1838. II, p. 33).

einen Trieb sich übereinander schiebenden Röhren, und das untere Ende mit den Objectivlinsen ist eine auffallend engere Röhre. Diese hat nach oben eine planconvexe Linse von sehr schwacher Krümmung. In der innersten Röhre des eigentlichen Mikroskopkörpers sind noch drei grössere biconvexe Linsen enthalten: die unterste davon wirkt als Collectivlinse, die beiden oberen dagegen, die dicht bei einander sind, vertreten zusammen die Stelle eines Oculares. Es gehören acht Objectivlinsen dazu, von denen die stärkste 460 Mal vergrössert; ausserdem noch drei mit concaven Reflexionsspiegelchen versehene Linsen zur Beobachtung undurchsichtiger Objecte.

Wird der Mikroskopkörper weggenommen und ein kleiner Querarm angesetzt, der die Linsen aufnimmt, so lässt sich das Instrument in ein einfaches Mikroskop umwandeln. Von den dazu gehörenden vier Linsen vergrössert die stärkste 150 Mal.

Uebrigens gehören noch mancherlei Nebendinge zu diesem Mikroskope, die aber alle dem Martin'schen entlehnt sind.

Ueberblickt man die Fortschritte des zusammengesetzten Mikroskopes 55
während des 18. Jahrhunderts und in den ersten Jahren des 19. Jahrhunderts, so muss man eingestehen, dass allmälig in der ganzen mechanischen Einrichtung sowohl, als auch in den Mitteln zur Beleuchtung der Objecte grosse Verbesserungen Platz gegriffen hatten. Anders verhält es sich aber mit dem wichtigsten Theile des Mikroskopes, mit der optischen Einrichtung; diese hatte nur geringe Fortschritte gemacht. Alle hierin erstrebten Verbesserungen waren nur dem Oculare zugewendet, konnten deshalb immer nur von untergeordnetem Werthe sein, so lange nicht die Objective verbessert wurden. Untersucht man Mikroskope aus jener Zeit, so kommt man zu dem Resultate, dass durch die als Objective benutzten einfachen Linsen alles, was man durchs zusammengesetzte Mikroskop beobachtete, zwar in geringer Vergrösserung gesehen wurde, dafür aber auch sehr deutlich und scharf, dass man daher durch die mit Ocularen erzielte stärkere Vergrösserung des Bildes eigentlich nichts gewann als ein grösseres Gesichtsfeld, und zwar auf Kosten der für den Beobachter weit wichtigeren Helligkeit und Schärfe.

Es schien wirklich, als sollte das zusammengesetzte Mikroskop aus seinem bisherigen Zustande der Mittelmässigkeit sich niemals erheben. Auch stand man bei wissenschaftlichen Untersuchungen von seinem Gebrauche mehr und mehr ab, und ungeachtet der mit dem Gebrauche des einfachen Mikroskopes verbundenen Nachtheile gaben doch die gründlichsten Beobachter demselben den Vorzug; wogegen das zusammengesetzte Mikroskop je länger je mehr zu einem Instrumente der Vergnügung oder der Befriedigung kindischer Neugierde erniedrigt wurde, oder wenigstens

Digitized by Google

nur dann in Gebrauch kam, wenn die Art der Untersuchung keine gar grosse Genauigkeit erforderlich machte.

Allmälig durfte man sich jedoch der Hoffnung hingeben, dass auch in der optischen Einrichtung des zusammengesetzten Mikroskopes eine erhebliche Verbesserung möglich sei. Newton hatte schon dargethan, dass die Unvollkommenheit der dioptrischen Instrumente hauptsächlich von der chromatischen Aberration herrührte. Durch ein Paar ungenügend ausgeführte Versuche kam er aber zu dem unrichtigen Schlusse, die Farbenzerstreunng sei bei allen das Licht brechenden Medien die nämliche, nnd deshalb würde es ein vergebliches Bemühen sein, wenn man durch die Verbindung zweier verschiedener Medien, indem man etwa Wasser zwischen zwei concave Gläser brächte, die chromatische Aberration verbessern wollte*). Schon zwei Jahre nach Newton's Tode, im Jahre 1722, wurde es aber thatsächlich nachgewiesen, dass er sich hierin geirrt hatte und in seinen Folgerungen zu voreilig gewesen war. Chester More Hall, ein in der Geschichte der Wissenschaften sonst unbekannter Edelmann ans der Grafschaft Essex, versnchte in diesem Jahre Linsen aus Kronglas und Flintglas zusammenzusetzen, indem er sich auf den Achromatismns des menschlichen Anges stützte, worin ebenfalls ungleich brechende Medien vereinigt sind. Er setzte seine Versuche fort, und 1733 gelang es ihm wirklich, achromatische Objectivlinsen für Fernrohre herzustellen**). Indessen verflossen noch viele Jahre, ehe diese Erfindung für die Wissenschaft Früchte trng. Ein halbes Jahrhundert später war der Name des wahren Erfinders nicht mehr bekannt, nnd John Dollond galt allgemein als solcher. Ist es nnn auch sehr wahrscheinlich, dass Dollond, als er 1757 achromatische Fernrohre zu verfertigen anfing, mit Hall's Erfindung nicht ganz nnbekannt war, so bleiben

*) Newton erhielt bei seinen Versuchen deshalb falsche Resultate, weil er in dem benutzten Wasser eine gewisse Menge essigsaures Blei auflöste, wodnrch sowohl das Brechungsvermögen als das Farbendispersionsvermögen jenem des Glases näher kam. Dass er übrigens das Princip, worauf sich die Möglichkeit des Achromatismus stützt, wirklich durchschaute, das ersieht man aus seinen *Principia mathematica philosophiae naturalis*, Lib. I. Schol. ad Prop. XCVIII. Molyneux, welcher 1690 Newton's Worte citirte, liess sich zu der gewissermaassen prophetischen Aeusserung hinreissen: „er ist in die Tiefen der Natur hinabgestiegen und hat der Nachwelt einen Grundstein gelegt, worauf sie ein nnübersehbares Gebäude errichten kann."

**) Nähere Nachrichten über Hall nnd dessen Erfindung finden sich zuerst in *Gentleman's Magazine*, Oct. 1790, nnd wurden von da im *Philosophical Magazine*, Nov. 1798, aufgenommen. Eine Nachricht darüber, wie die Zusammensetzung seiner achromatischen Linsen endlich Dollond bekannt geworden sein soll, findet man in der Abhandlung von Alexis Rochon (*Mémoire sur les verres achromatiques*), welche im Floreal des Jahres IX dem Institut national mitgetheilt wnrde.

Digitized by Google

gleichwohl seine grossen Verdienste in Betreff des Achromatismus der Linsen ungeschmälert: seinen unnachlässigen Bemühnngen ist es zuzuschreiben, dass der Achromatismus allgemein bekannt wurde, nnd durch seine zahlreichen Versuche hat er sich selbst und Andere in den Stand gesetzt, die dazu geeigneten Methoden immer mehr zu verbessern. Schon 5 Jahre später, nämlich 1762, wurde in Holland das erste achromatische Fernglas angefertigt von Herman und Jan van Deyl in Amsterdam (*Verhandl. d. Haarl. Maatschappy*, III, St. 2, p. 134).

Schon früher, etwa um 1747, hatte sich Euler mit dem nämlichen Gegenstande beschäftigt, und bei Wiederholung einiger Newton'schen Versuche hatte er die gleichen negativen Resultate erlangt, wie dieser. Als indessen die Möglichkeit des Linsenachromatismus durch Dollond praktisch dargethan worden war, wurden auch die theoretischen Gründe durch Euler (*Dioptrica*. Petrop. 1771) entwickelt, wie es zum Theil schon früher in den *Mémoires de l'Acad. de Berlin* von 1766 und 1767, sowie in den *Novi Comment. Acad. Petropol.* XVIII. geschehen war.

War es auch gelungen, die chromatische Aberration in den Fernrohren grossentheils zu beseitigen, so fehlte doch noch viel, dass man das nämliche Verfahren auch für das Mikroskop passlich erachtete. Man verzweifelte vielmehr anfangs allgemein daran, dass man so kleine Linsen, wie zu den Objectiven zusammengesetzter Mikroskope erforderlich sind, achromatisch machen könnte, und nachdem das Fernrohr achromatische Objective bekommen hatte, fuhr man noch Jahre lang fort, das Mikroskop ganz in der hergebrachten Weise einzurichten. Blos Dellebarre machte eine Ausnahme; allein sein Versuch, den Achromatismus ins Ocular zu verlegen (S. 123), ist als ein gänzlich missglückter anzusehen.

Euler hatte indessen nicht vergessen, seine Principien auch auf das Mikroskop zu übertragen. Er veranlasste die Herausgabe der Schrift von Nicol. Fuss (*Instruction détaillée pour porter les lunettes au plus haut degré de perfection, avec la description d'un microscope, qui peut passer pour le plus parfait dans son espèce.* St. Petersbourg 1774), die er mit einer Vorrede versah. Fuss giebt darin, gemäss der Theorie in Euler's *Dioptrica*, den Optikern sehr genaue Anweisung, wie sie die Objective von Fernrohren einrichten müssen, um sie möglichst achromatisch zu machen, und zuletzt beschreibt er ein Mikroskop mit achromatischem Objective. Man erkennt es aber, dass diese Beschreibnng nicht nach einem fertigen Mikroskope gemacht ist, sondern nnr als eine Vorschrift für die Anfertigung eines achromatischen Mikroskopes gelten soll. Das von Fuss projectirte Mikroskop sollte eine Objectivlinse von $^1/_7$ Zoll Durchmesser nnd $^1/_2$ Zoll Brennweite haben, und diese sollte aus zwei biconvexen Kronglaslinsen und einer dazwischen befindlichen biconvexen Flintglaslinse bestehen. Die Brennweiten nnd die Krümmungen der einzelnen Linsen sind genau angegeben. Die Oculare sollten aus Flintglas und

Digitized by Google

biconvex sein. Fuss hoffte mit diesem Mikroskope bei einer 400maligen Vergrösserung noch ganz scharfe Bilder zu bekommen.

Erst 10 Jahre später wurde von Aepinus (*Nova acta Acad. Petrop.* 1784. II. Hist. p. 41) ein Mikroskop hergestellt, dessen Objectivlinse aus Flintglas und Kronglas bestand. Die Brennweite war nicht geringer als 7 Zoll; das Mikroskop war 3 Fuss lang und vergrösserte nur 60 bis 70 Mal. Nicht ohne Grund nannte es Adams (l. c. p. 3) ein mikroskopisches Fernrohr. Wahrscheinlich wird auch Aepinus ein Objectiv genommen haben, das ursprünglich für ein Fernrohr bestimmt war, so dass sein Instrument zur Klasse jener gehörte, von denen oben (S. 116) die Rede war und die Martin als polydynamische Mikroskope benannte. Offenbar war die Schwierigkeit, kleine achromatische Linsen herzustellen, der Grund, weshalb Aepinus ein Objectiv mit so grosser Brennweite benutzte. Wegen der geringen Vergrösserung dieses Mikroskopes musste der Versuch als ein nur unvollständig gelungener gelten.

Wahre achromatische Objective für Mikroskope wurden meines Wissens zuerst in Holland angefertigt, und zwar von Jan und Herman van Deyl. Ehe ich jedoch von deren gelungenen Versuchen näher spreche, muss ich noch eines anderen Landsmannes, François Beeldsnyder*) gedenken, der sich etwa um 1791 in Amsterdam mit Anfertigung von Mikroskopen beschäftigte, und wirklich ein Mikroskopobjectiv aus Kronglas und Flintglas zu Stande brachte. Dasselbe hat drei Linsen, nämlich zwei biconvexe Kronglaslinsen und dazwischen eine biconcave Flintglaslinse. Eine Kronglaslinse hat 22 Millimeter Brennweite, die andere 19 Millimeter; die drei Linsen zusammen aber haben 21 Millimeter Brennweite. Der Durchmesser der Linsen beträgt 6,5 Millimeter, die Dicke nicht ganz 4 Millimeter; sie sind gut geschliffen und offenbar sorgfältig centrirt. Wird dieser Linsensatz für sich allein benutzt, so erhält man

*) Durch einen Zufall bin ich mit den Bestrebungen dieses Landsmannes bekannt geworden. Vor mehreren Jahren sah ich bei Herrn O. W. Roelofs hier eine in einer Auction gekaufte Kiste, worin sich verschiedenartige mikroskopische Instrumente befanden. Darunter war ein Sonnenmikroskop mit Martin'scher Construction, auf dessen Platte gravirt stand: *François Beeldsnyder à Amsterdam* 1791; ferner ein zusammengesetztes Mikroskop, hauptsächlich nach Dellebarre eingerichtet, sowie viele einzelne Röhrchen und Linsen, grosse und kleine trockene Präparate u. s. w., alles in grosser Unordnung durch einander. Ich versuchte aus diesem Chaos von Glas und Messing wieder etwas herauszubringen, was einem brauchbaren Mikroskope gliche, und dabei fand ich die achromatische im Texte beschriebene Linse. Durch Herrn G. J. Beeldsnyder van Voshol habe ich nun in Erfahrung gebracht, dass sein Onkel François Beeldsnyder, Gerard's Sohn, 1755 geboren wurde und 1808 gestorben ist. Er war Obrist bei der Amsterdamer Cavallerie, Mitglied des dortigen Justizcomité u. s. w. und allgemein bekannt als Liebhaber der Naturkunde und der mechanischen Werkkunde, auf deren praktische Cultur er einen grossen Theil seiner Zeit verwandte.

Google

ein klares und scharfes Bild. Als Objectiv in einem Amici'schen Mikroskope schien er mir aber vor einer einfachen biconvexen Linse von gleicher Brennweite wirklich den Vorzug zu verdienen, und recht gut den Vergleich auszuhalten mit einer achromatischen Linse, die etwa um 1824 wahrscheinlich von Tulley gefertigt worden ist und ziemlich die nämliche Brennweite hat, jedoch einen grösseren Oeffnungswinkel besitzt.

Ist es gleich nicht zu verkennen, dass Beeldsnyder's Objectiv den in den letzten Jahren verfertigten achromatischen Linsen bei weitem nicht gleichkommt, da man jetzt für deren Zusammensetzung schon so Vieles erfunden, und eine Sicherheit und Genauigkeit der Ausführung erlangt hat, woran man zuerst trotz der Anweisungen eines Euler nicht denken konnte, so ist doch aus dem Mitgetheilten deutlich zu entnehmen, dass unter jenen, die sich mit der Anfertigung eines achromatischen mikroskopischen Objectives beschäftigt haben, Beeldsnyder gewiss obenan zu stellen ist.

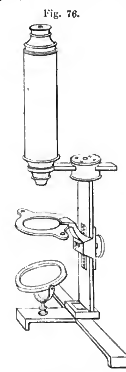
Einige Jahre später, von 1800 bis 1810, versuchte Charles in Paris kleine achromatische Linsen herzustellen; dieselben werden im physikalischen Kabinette des *Conservatoire des Arts et Metiers* aufbewahrt. Nach Chevalier (*Die Mikroskope* u. s. w., S. 51) soll aber ihre Krümmung und Centrirung so unvollkommen sein, dass sie dadurch geradezu unbrauchbar werden.

Weit besseren Erfolg hatte Herman van Deyl, der 1807 das von ihm verfertigte achromatische Mikroskop beschrieb (*Natuurkundige Verhandelingen van de Koninglyke Mantschappy der Wetenschapen te Haarlem.* Amsterd. 1807. III. St. 2). Bald nach der Erfindung der achromatischen Fernrohre hatte dieser ausgezeichnete Mechanicus, zusammen mit seinem Vater Jan van Deyl, achromatische Objective für Fernrohre verfertigt, und schon damals waren sie darauf bedacht, ein achromatisches Objectiv für das Mikroskop herzustellen. Van Deyl sagt: „Wir berechneten genau die kuglige Form eines solchen achromatischen Mikroskopglases von $^3/_4$ Zoll Brennweite. Ich formte ganz genaue Schälchen für dasselbe, schliff die Gläschen mit der grössten Sorgfalt, fasste sie in Röhrchen aus Brasilienholz, und in dieses wurde ein anderes Röhrchen mit zwei Ocularen geschoben, dessen Einrichtung wir auch berechnet hatten. — — — — Schon damals wurde uns die Freude zu Theil, dass alles unseren Erwartungen entsprach“. Sie hatten aber soviel mit achromatischen Fernrohren zu thun, dass sie vom Mikroskope abkamen, und zwar um so eher, weil sie glaubten, in England werde diese Verbesserung bald allgemein eingeführt werden; auch erachteten sie es deshalb für überflüssig, ihre Versuche der Oeffentlichkeit zu übergehen. Nachdem indessen der alte van Deyl, 85 Jahre alt, im Jahre 1801 gestorben war, und der im 69. Jahre stehende Sohn die lange erwartete Verbesserung noch immer nicht eintreten sah, beschloss derselbe, nochmals Hand ans Werk zu legen, und seine Versuche hatten einen unerwartet glücklichen Erfolg. Sein

Mikroskop bekam zwei achromatische Objectivlinsen mit weiter Oeffnung: die eine hatte $1^{1}/_{16}$ Zoll (26 Millimeter) Brennweite, die andere $^{3}/_{4}$ Zoll (18 Millimeter). Zuerst ging die Vergrösserung mittelst der Oculare und mittelst Ausziehens des Rohres nicht über 80 Mal; bald fand er aber, dass seine achromatischen Objective weit stärkere Oculare erlaubten, und nun brachte er durch ein zweites besonderes Ocular die Vergrösserung bis zum 150fachen, ohne dass es den Bildern an ausreichender Helligkeit und Schärfe gebrach.

Soviel berichtete van Deyl im Jahre 1807 selbst von seinem Mikroskope (Fig. 76). Ich habe ein von ihm gefertigtes Instrument untersucht, das sich im physikalischen Kabinette zu Utrecht befindet, und kann daher Folgendes beifügen. Die äussere Form stimmt ganz mit der Abbildung, welche van Deyl der ursprünglichen Beschreibung beigegeben hat. Es sind zwei achromatische Linsen dabei, mit Brennweiten von 18 Millimeter und 13 Millimeter, woraus also ersichtlich ist, dass van Deyl seine Linsen späterhin noch verbessert hat. Die schwächer vergrössernde Linse (Nr. 1) hat einen Oeffnungswinkel von 14°, die stärker vergrössernde Linse (Nr. 2) einen solchen von 15°. Ihre Dicke habe ich nicht messen können, weil die Röhrchen, in welche sie gefasst sind, eine zu grosse Tiefe haben. Es sind diese achromatischen Objectivlinsen beinahe planconvex gestaltet, jedoch an der abgeplatteten und nach unten gekehrten Seite etwas concav. Diese Form und Stellung der Linsen ist beachtenswerth; denn damals und noch viele Jahre später pflegte man die Objectivlinsen biconvex zu machen, und erst später wurde es allgemein bekannt, dass nur durch planconvexe Linsen, deren platte Seite dem Objecte zugekehrt ist, die sphärische Aberration auf ein Minimum gebracht werden kann. Selbst noch im Mikroskope von Selligue, von dem alsbald die Rede sein wird, sahen die convexen Flächen der Linsen nach unten. Diese Form der van Deyl'schen Objectivlinsen erhebt es auch beinahe zur Gewissheit, dass sie nicht aus drei, sondern nur aus zwei Linsen zusammengesetzt waren, einer biconvexen Kronglaslinse und einer planconcaven (eigentlich bicon-

Fig. 76.



Van Deyl's achromatisches Mikroskop.

caven, aber auf der Aussenfläche sehr wenig gekrümmten) Flintglaslinse, also ganz in der nämlichen Weise, wie es jetzt allgemein gebränchlich ist.

Es gehören ferner zu diesem Mikroskope zwei Oculare, deren jedes nur ein Glas hat, so dass das nämliche Collectivglas, welches an die Verlängerungsröhre des Mikroskopes geschraubt wird, für beide bestimmt ist. Alle diese Gläser sind biconvex, aber dergestalt, dass die dem Auge zugekehrte Oberfläche nur eine sehr schwache Krümmung hat, die untere Fläche dagegen stärker gekrümmt ist. Diese Form haben sie offenbar deshalb erhalten, damit die Aberration durch das Ocular möglichst herabgedrückt wird.

Die mechanische Einrichtung dieses Mikroskopes ist so einfach, dass die Abbildung keiner weiteren Erklärung bedarf. Das Mikroskoprohr ist 16 Centimeter lang, hat aber 28 Centimeter, wenn das Verlängerungsrohr ganz ansgezogen wird. Für 25 Centimeter Sehweite ergaben sich folgende Werthe:

	Ohne Verlängerungsrohr.	Mit Verlängerungsrohr.
Linse 1 und Ocnlar 1 vergrössern	34 . . .	61
„ 1 „ „ 2 „	62 . . .	111
„ 2 „ „ 1 „	54 . . .	106
„ 2 „ „ 2 „	96 . . .	170

Grösse des Gesichtsfeldes mit Ocular 1 = 145 Millimeter
„ „ „ „ „ 2 = 160 „

Die Helligkeit uud Schärfe der Bilder in diesem Mikroskope ist in der That sehr gross, und darin übertrifft es bei weitem die früheren nichtachromatischen Instrumente. Mit Objectiv 2 und Ocular 2, also bei einer 96maligen Vergrösserung, erkennt man am Nobert'schen Täfelchen die Striche der ersten Gruppe ganz deutlich, was mit einer nichtachromatischen Objectivlinse nur bei einer dreimal stärkeren Vergrösserung möglich ist.

Die Vorzüglichkeit der Linsen van Deyl's wird erst recht deutlich, wenn sie zusammen als Objectiv benutzt werden; doch muss ich zugleich hinzufügen, dass van Deyl selbst sie nicht so angewendet zu haben scheint. Die Vergrösserungen mittelst dieses Objectivsystems waren:

	Ohne Verlängerungsrohr.	Mit Verlängerungsrohr.
Ocular 1 . .	76 . .	136
„ 2 . .	125 . . .	229

Die Schärfe der Bilder ist jetzt so gross, dass man sehr bequem die Längsstreifen auf den Flügelschüppchen von *Pieris brassicae* erkennen kann, die doch zu den schwierigeren Probeobjecten gehören. Am Nobert'schen Täfelchen erkennt man die Striche der dritten Gruppe gut, und auch die vierte Gruppe erscheint stark gestrichelt. So verhält sich die Sache schon bei der schwächeren Vergrösserung von 76 Mal; noch grössere Deutlichkeit zeigt sich aber, wenn das stärkere Ocular angewendet und die Röhre ausgezogen wird. Ich verglich damit einen Satz zweier achromatischer Linsen von fast gleichen Brennweiten, welche Amici 1835 geliefert hatte, und überzeugte mich, dass die Linsen van Deyl's diesen nichts nachgeben. Auch kann man zu ihnen weit stärkere Oculare nehmen, als van Deyl gebrauchte. Setzte ich ein stärkeres Ocular ein, wodurch eine Vergrösserung von 650 Mal erreicht wurde, so war die Helligkeit immer noch eine sehr grosse. Nur verlieren die Ränder der Bilder zu viel von ihrer Schärfe, als dass eine solche Vergrösserung zulässig wäre.

Aus allem folgt, dass van Deyl für seine Mikroskope wirklich achromatische Linsen herstellte, und zugleich ergiebt sich auch, dass von denen, die bis zum Jahre 1823 das nämliche Ziel verfolgten, keiner ihn darin übertroffen hat; ja sogar das in diesem Jahre durch Chevalier für Selligue verfertigte Mikroskop stand in manchen Beziehungen noch unter dem van Deyl'schen.

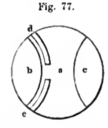
Frannhofer in München lieferte bereits um 1811 Mikroskope mit achromatischen Linsen, nicht erst um 1816, wie Chevalier (l. c. S. 11) fälschlich angiebt; wenigstens sind sie in einem Preisconrante vom Jahre 1811 (Gilbert's *Annal.* Bd. 38, S. 347) mit aufgenommen. Zu jedem Mikroskope gehörten vier solche Linsen mit verschiedener Brennweite; dieselben waren biconvex, und die am stärksten vergrössernde hatte $^2/_3$ Zoll oder etwa 16 Millimeter Brennweite. (S. Döllinger, *Nachricht von einem verbesserten Mikroskope*, 1829, S. 9.) Zu dem Mikroskope gehörten ferner zwei verschiedene Oculare. Die stärkste Vergrösserung ging nach Jacquin nicht über 120, und nach eben demselben konnte man damit von den Strichelchen auf den Flügelschüppchen einer Kleidermotte keine Spnr entdecken, obwohl dieselben mit einer einfachen Linse von 60maliger Vergrösserung schon ganz deutlich zu erkennen sind. (S. Moser, *Anleitung zum Gebrauche des Mikroskopes*, S. 26.) Fraunhofer (Gilbert's *Annal.* 1823, Bd. 74, S. 350) giebt selbst an, dass er feine Striche auf Glas, die nur $^1/_{713}$ Linie von einander entfernt waren, mittelst der stärksten Vergrösserung nur schwer damit unterscheiden konnte. Hieraus ersieht man dentlich, dass die achromatischen Mikroskope Fraunhofer's den früheren van Deyl'schen bei weitem nachstehen mussten; denn in der ersten Gruppe des Nobert'schen Probetäfelchens, welche

man durch van Deyl's Instrument bequem unterscheidet, sind die Striche nur $^1/_{1000}$ Linie von einander entfernt.

Der Achromatismus der Mikroskope wurde 1813 von Brewster (*New Instruments*, p. 401) auf einem ganz anderen Wege erstrebt. Als Objectiv benutzte dieser eine biconvexe Linse aus Kronglas, die an der nach oben gekehrten Fläche eine weit stärkere Krümmung hatte als an der unteren. Letztere wurde während der Untersuchung in ein starkes lichtbrechendes Oel gebracht, in Zimmt-, Anis-, Sassafrasöl u. s. w., worin sich auch das Object befand. Es ist aber klar, dass dieses sonst recht gut ersonnene Hülfsmittel nur in wenigen Fällen wirklich Anwendung finden kann.

Brewster machte auch den Vorschlag, achromatische Kugeln (Fig. 77) dadurch herzustellen, dass der Raum *a* zwischen zwei biconvexen Linsen *b* und *c* mit einer Flüssigkeit erfüllt würde, die hier die Stelle des Flintglases vertreten sollte. Hinter die eine Linse könnte auch noch ein concaves Metallspiegelchen *de* kommen, mit einer centralen Oeffnung für den Durchtritt der Lichtstrahlen, um als Beleuchtungsapparat bei auffallendem Lichte zu dienen. Dieser Vorschlag scheint indessen auch nicht zur Ausführung gekommen zu sein.

Fig. 77.



Achromatische Kugel nach Brewster.

Noch weniger Erfolg hatte Domet in Frankreich in den Jahren 1821 bis 1823. Seine achromatischen Linsen hatten 12 Millim. Durchmesser und eine Brennweite von 40 bis 50 Millimeter; als Mikroskopobjective konnten sie daher gewiss nur für sehr geringe Vergrösserungen Anwendungen finden. (Chevalier, *Die Mikroskope* u. s. w. S. 11.)

Um die nämliche Zeit (1824) hat auch Tulley in England unter Goring's Anleitung achromatische Objective von 22 Millim. Brennweite und einem Oeffnungswinkel von 18° verfertigt. (Pritchard, *Microscop. Illustr.* p. 43) *).

In Italien hatte sich Amici in Modena schon seit 1816 mit der Her-

*) Zu einem Dollond'schen Mikroskope aus jener Zeit, welches sich im Utrechter Kabinette befindet, gehören zwei achromatische Linsen von 24 Millimeter Brennweite, 13 Millimeter Durchmesser und nicht weniger denn 7 Millimeter Dicke; sie sind biconvex und bestehen aus zwei Kronglaslinsen nebst einer eingeschobenen concaven Flintglaslinse. Da die Beschreibung der Tulley'schen Linsen ziemlich auf sie passt, und da Pritchard wie Quekett bezeugen, Tulley habe zuerst in England solche Linsen angefertigt, so vermuthe ich, dass sie nicht von Dollond selbst kommen, sondern von Tulley, zumal bekanntlich Dollond in der späteren Zeit keine Mikroskope mehr gearbeitet hat, wenngleich er von Anderen gefertigte Instrumente unter seinem Namen in den Handel brachte.

Digitized by Google

stellung achromatischer Linsen beschäftigt; doch scheinen seine ersten Versuche keinen Erfolg gehabt zu haben, weshalb er davon abstand und das später zu beschreibende katadioptrische Mikroskop ausführte.

Auch ein anderer italienischer Optiker, Bernardino Marzoli in Brescia, verfertigte um diese Zeit nach Giovanni Santini (*Teorica degli stromenti ottici.* Padova 1827. p. 187) achromatische Objectivlinsen, von denen mir aber nichts weiter bekannt geworden ist.

Prüft man nun die bis dahin unternommenen Versuche, das Mikroskop zu einem achromatischen Instrumente zu machen, so überzeugt man sich leicht, dass sie das Erwartete nicht zu Tage gefördert haben. Der bedeutendste Gewinn war, dass man die Oeffnung der Objectivlinse grösser machen konnte, wodurch mehr Licht eingelassen wurde; allein das beschränkte sich wieder einzig und allein auf jene Fälle, wo eine nur mässige Vergrösserung ausreichte. Diese ungenügenden Ergebnisse haben einen doppelten Grund. Erstens hat es grosse Schwierigkeiten, achromatische Linsen von kurzer Brennweite zu fertigen. Unter den bis dahin gelieferten achromatischen Linsen hatte jene van Deyl's die kürzeste Brennweite, nämlich 13 Millimeter bei etwa 19maliger Vergrösserung, während bei den älteren Mikroskopen Objective von 2 bis 3 Millimeter Brennweite in Gebrauch waren, die für sich allein schon 80 bis 100 Mal vergrösserten. Wollte man also bei achromatischen Objectivlinsen etwas stärkere Vergrösserungen, so mussten diese ins Ocular verlegt werden, und hier stiess man bald auf eine nicht zu überschreitende Grenze, falls die Bilder nicht zu viel an Schärfe verlieren sollten. Ein zweiter Grund lag dann darin, dass durch den Achromatismus der Linsen noch keineswegs die sphärische Aberration beseitigt war, deren Wirkung beim Gebrauche starker Oculare nur um so mehr hervortrat. Wären die achromatischen zusammengesetzten Mikroskope auf dieser Stufe stehen geblieben, sie hätten niemals mit Erfolg mit den einfachen Linsen wetteifern können; auch wurden letztere in allen Fällen, wo es auf eine ganz genaue Untersuchung ankam, von den besten Beobachtern, wie Brown, Treviranus u. s. w., immer noch vorzugsweise benutzt. Deshalb fuhren auch die meisten Optiker fort, dem zusammengesetzten Mikroskope die alte Construction zu geben. Coddington (*Treatise on the Eye and optical Instruments*, p. 59. *Cambr. philos. Transact.* III, p. 421) benutzte seine am Rande rinnenförmig ausgeschliffenen Linsen, von denen schon oben (S. 58) die Rede war und die noch lange nicht achromatisch wirkten, auch als Objective für das zusammengesetzte Mikroskop; statt zweier biconvexer Oculare benutzte er aber ein Ocular mit zwei Paaren einander gegenüberstehender Linsen, von denen die beiden unteren planconvex waren und die flachen Seiten nach oben kehrten, während das obere Paar aus einer biconvexen und einer planconvexen Linse bestand. Durch diese Einrich-

tung wurde zwar die sphärische Aberration etwas verbessert, die chromatische Aberration dagegen blieb ganz unverändert.

Allmälig fing es aber auch hier an zu tagen. Im Jahre 1824 legte Selligue der Pariser Akademie ein Mikroskop vor, welches von Vincent und Charles Chevalier nach seinen Angaben und unter seiner Aufsicht verfertigt worden war (s. Chevalier l. c. S. 52). Fresnel gab im Namen der ernannten Commission einen Bericht darüber (*Annal. des Sc. nat.* 1824. p. 345), wonach dieses Mikroskop wirklich besser war als alle anderen, die man bisher mit achromatischen Objectiven ausgestattet hatte. Doch war man auch jetzt noch nicht dahin gelangt, achromatische Linsen mit kurzer Brennweite herzustellen. Bei Selligue's Mikroskope bestand das achromatische Objectiv aus einer biconvexen Kronglaslinse und einer planconvexen Flintglaslinse; die Brennweite ging nicht unter 37 Millim., der Durchmesser betrug 12 Millim. und die Dicke 4 Millim. Die Hauptverbesserung bestand darin, dass man mehrere solche Doppellinsen über einander schrauben konnte, wodurch ein doppelter Vortheil erzielt wurde, nämlich stärkere Vergrösserung und Beschränkung der sphärischen Aberration. Die letztere machte sich aber gleichwohl noch in einem ziemlich hohen Grade geltend, da weder Selligué noch Chevalier darauf kamen (obwohl es schon van Deyl ausgeführt hatte), die flache Seite der Linsen nach unten zu bringen. Namentlich wird dieser Mangel bei etwas stärkeren Vergrösserungen sehr bemerkbar. Die Vergrösserung wurde auf dreierlei Weise zu Stande gebracht: durchs Ausziehen des Rohres, worin das Ocular enthalten war; durch Vermehrung der über einander geschraubten Objective; durch Einschieben eines biconcaven Glases oberhalb der letzteren. Die stärkste Vergrösserung ging bis 1200; aber schon bei einer 500maligen Vergrösserung reichte das Tageslicht zur Beleuchtung nicht mehr aus und es musste eine Argand'sche Lampe benutzt werden. Zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte diente bei diesem Mikroskope ein dreiseitiges Prisma mit convexer Oberfläche. Um bei durchfallendem Lichte das überflüssige Licht abzuschliessen, wurde nicht der bis dahin gebräuchliche hohle Kegel genommen, sondern eine drehbare Scheibe mit verschieden grossen Löchern kam unter den Objecttisch; eine Einrichtung, die wir übrigens schon bei einem der einfachen Mikroskope Joh. Musschenbroek's (S. 43) kennen gelernt haben. 56

Es unterliegt keinem Zweifel, dass mit der Herstellung dieses Mikroskopes ein grosser Schritt vorwärts geschehen war. Zum ersten Male wurde bei demselben das Princip in Anwendung gebracht, ein System mehrerer achromatischer Linsen zu benutzen, welchem Principe unsere gegenwärtigen Mikroskope guten Theils ihre grössere Vollkommenheit verdanken. Auch musste der günstige Erfolg der Bemühungen den Muth

Digitized by Google

beleben und die Hoffnung aufrecht erhalten, dass man durch Ausdauer endlich das Ziel erreichen werde.

Charles Chevalier ging auf der bereits mit so gutem Erfolge betretenen Bahn mit Eifer fort und noch in dem nämlichen Jahre gelang es ihm, eine achromatische Linse von nur 8 Millimeter Brennweite zu Stande zu bringen; dieselbe hatte 4 Millimeter Durchmesser und 2 Millimeter Dicke. Auch scheint Chevalier (l. l. S. 53) der erste gewesen zu sein, der zwischen die Kronglas- und Flintglaslinse Canadabalsam brachte, wodurch die Reflexion beim Durchgange der Lichtstrahlen beseitigt wurde und somit auch die Helligkeit zunahm *). Ein mit solchen Linsen versehenes Mikroskop legte er zu Anfang des Jahres 1825 der *Société d'Encouragement* vor, und der darüber abgestattete Bericht lautete sehr günstig. Mit Unrecht benannte es übrigens Chevalier als Euler'sches Mikroskop; denn seine optische Einrichtung stimmte durchaus nicht mit jener, welche Euler (S. 131) für das achromatische Mikroskop vorgeschlagen hatte.

Angestachelt durch den Erfolg von Selligue und Chevalier wandte sich Amici in Modena dem früheren Unternehmen neuerdings zu und diesmal mit dem besten Erfolge. Bereits zwei Jahre darauf (1827) brachte er sein horizontales achromatisches Mikroskop nach Paris. Jede der dazu gehörigen achromatischen Doppellinsen hatte eine Brennweite von 12 Millimetern. Drei davon übereinander geschraubt, und zwar mit der flachen Seite nach unten, bildeten das Objectiv. Die verschiedenartigen Vergrösserungen wurden durch den Wechsel der Oculare zu Stande gebracht, deren planconvexe Linsen die ebene Fläche nach oben richteten. Diese Stellung der Objectiv- und Ocularlinsen hatte zur Folge, dass auch die sphärische Aberration grösstentheils beseitigt wurde, und so war das Mikroskop nicht blos ein achromatisches, sondern auch ein aplanatisches geworden. Ausserdem hatte Amici ein rechtwinkeliges Glasprisma über dem Objective in die Röhre gebracht, damit die vom Objecte kommenden Strahlen unter einem rechten Winkel reflectirt würden (I, §. 177), und so bekam das Rohr, woran die Oculare geschraubt wurden, eine horizontale Stellung. Ein solches rechtwinkeliges Glasprisma hatte aber Newton

---

*) Nach Quekett soll Lister zuerst im Jahre 1829 darauf verfallen sein, Canadabalsam zwischen die Linsen zu bringen. Wie dem auch sei, soviel steht fest, dass diese Idee schon viel früher bei den Objectiven von Fernrohren verwirklicht worden ist. Rochon that 1774 dar, dass man die Gesammtwirkung der Linsen sehr verbessert, wenn man Wasser zwischen dieselben bringt. Statt des Wassers nahm Grateloup 1788 einen Mastixfirniss, und so lieferte Putois nach seiner Anweisung mehrere achromatische Objective. Endlich ersetzte Rochon den Mastixfirniss im Jahre 1801 durch einen recht durchsichtigen und flüssigen Terpentin. S. Rochon in den *Mémoires de l'Institut.* Floreal, An. IX, p. 12.

Digitized by Google

bereits 1772 in seinem Teleskope angebracht, wie Brewster (*The Life of Sir Isaac Newton*. Lond. 1831, p. 312) meldet.

57 Ich bin jetzt in der Geschichte der Entwickelung des zusammengesetzten Mikroskopes zur letzten Periode gekommen. Dasselbe hat zwar auch während dieser Periode noch erhebliche Verbesserungen erfahren; der Weg dazu war aber gebahnt, und der Wetteifer, der alsbald zwischen einer grossen Anzahl von Mikroskopverfertigern in verschiedenen Ländern entstand, hat sehr viel zur weiteren Vervollkommnung beigetragen. Es wird deshalb nöthig, jetzt im Besondern bei den vorzüglicheren Optikern zu verweilen und deren Instrumente zu beschreiben, um dann den gegenwärtigen Zustand des zusammengesetzten Mikroskopes im Allgemeinen festzustellen und zu untersuchen, ob man hoffen darf, dasselbe sei auch noch einer künftigen Verbesserung fähig.

Zunächst ist hier die Firma Chevalier in Paris (*Palais royal* Nr. 158) zu nennen, welche der Reihe nach durch den Grossvater Vincent, den Vater Charles, den Enkel und gegenwärtigen Inhaber Arthur vertreten wird. Es ist bereits besprochen worden, dass Vincent und Charles zusammen zuerst achromatische Linsen zu Linsensystemen combinirten. Charles hat viele Jahre hindurch zusammengesetzte Mikroskope mit verschiedenartiger Einrichtung geliefert. Am vollständigsten ausgestattet ist sein *Microscope universel* (Fig. 78 a. f. S.), wobei ihm das weiterhin näher zu beschreibende horizontale Mikroskop Amici's als Muster diente, wenngleich er mancherlei Veränderungen vornahm und auch Einrichtungen zufügte, die man bei Amici nicht findet.

Das Stativ wird auf ein das Mikroskop einschliessendes Kästchen geschraubt. Die horizontale vierseitige Stange *a* ist mit dem Stative durch das Charnier *z* verbunden, und an ihr ist die vierseitige, hinten gezahnte Stange *gg* befestigt. Der Spiegel *m* ist auf der einen Seite concav, auf der anderen eben; durch einen geränderten Knopf kann der Spiegel an der Stange *g* auf- und niederbewegt werden.

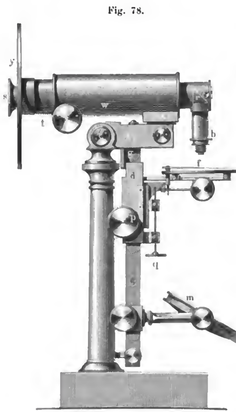
Der durch Schrauben bewegliche Objecttisch *f* ist an die vierseitige Hülse *d* befestigt, die sich durch Drehung des geränderten Knopfes *p* auf- und niederbewegt. Zur feineren Einstellung dient aber die Schraube *q*.

Der Mikroskopkörper *w* ist in doppelter Richtung beweglich, nämlich horizontal auf *x* und vertical durch das darunter befindliche Charnier. In dem äusseren Rohre bewegt sich eine zweite Röhre, welche durch die gezahnte Stange und durch das Rad *t* hinein- und herausgeschoben wird; auf dieser inneren Röhre ist aber eine getheilte Scala angebracht. Bei *r* befindet sich die kurze, am Ende geschlossene Röhre mit dem rechtwinkeligen Glasprisma; sie ist mit *w* durch Bajonetverbindung vereinigt. An das Röhrchen *b* werden die Objectivsysteme geschraubt. Die platte, ge-

Digitized by Google

schwärzte Scheibe *y* hat eine Oeffnung für das Ocular *s*; sie soll das Auge vor direct einfallendem Lichte schützen.

Fig. 78.



Horizontales Mikroskop von Chevalier.

In der Stellung, wie das Mikroskop abgebildet ist, sieht man horizontal durch dasselbe. Das Instrument kann aber auch in die verticale Stellung gebracht werden, indem man den Mikroskopkörper im erwähnten Charniere aufrichtet. Dann muss aber der Theil *r* weggenommen und durch ein anderes Objectivröhrchen ersetzt werden, welches nicht mit abgebildet ist.

Der Theil *r* kann ferner auch aufwärts gerichtet werden, um ohne Gefahr für die Objectivlinsen chemische Verrichtungen auf dem Objecttische ausführen zu können, wovon später die Rede sein wird.

Zu diesem Mikroskope gehörten drei Linsensysteme, vier Huygens'sche Oculare, eine *Camera lucida*, ein Reflexionsspiegel zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte und noch mehrere andere zu mikroskopischen Untersuchungen benutzbare Apparate. Im Preiscourante von 1842 stand es mit 1000 Francs.

Ch. Chevalier hatte noch mehrerlei einfachere und folglich auch billigere Mikroskopgestelle, deren nähere Beschreibung jedoch überflüssig sein dürfte. Erwähnen will ich nur noch, dass er zuerst, und zwar auf Mirbel's Betrieb, dem Mikroskope ein Glasprisma gab, so dass man unter einem Winkel von 45° in das Rohr sehen kann. Eine Zeit lang erfreuten sich die Mikroskope von Ch. Chevalier eines grossen Rufes; dieser aber minderte sich, als andere Optiker, die allerdings erst auf seinen Schultern gestanden hatten, ihn zu überholen begannen.

Ein Mikroskop aus dem Jahre 1840, wozu drei Linsensysteme gehören, deren jedes aus drei achromatischen Doppellinsen zusammengesetzt ist, lieferte mir folgende Resultate:

Objectivsystem.	Brennweite der äquivalenten Linsen *).	Ocular.	Vergrösserung.	Nobert'sches Probetäfelchen.
	Millimeter.			
Nr. 1	9,27	Nr. 1	196	Erste Gruppe deutlich.
" 1	—	" 2	325	Zweite Gruppe deutlich.
" 2	4,15	" 1	420	Fünfte Gruppe deutlich.
" 2	—	" 2	700	Desgleichen.
" 3	2,06	" 1	882	Siebente Gruppe deutlich.
" 3	—	" 2	1500	Desgleichen.

Hieraus ist ersichtlich, dass Ch. Chevalier schon vor vielen Jahren Objectivsysteme mit sehr kurzer Brennweite herstellte, zugleich aber auch, dass dieselben nicht jenen Grad von Aplanatismus besassen, den andere Mikroskopverfertiger schon damals erreicht hatten. Von den fortschreitenden Leistungen Chevalier's überzeugte mich aber die Untersuchung eines seiner kleineren Mikroskope aus dem Jahre 1844, wozu zwei Systeme von 5,72 und 3,18 Millimeter Brennweite gehörten. Mit dem letzteren war bei 308maliger Vergrösserung noch die sechste Gruppe des Nobert'schen Täfelchens zu erkennen.

Der Ruf der Chevalier'schen Mikroskope hat sich aber seit ein Paar Jahren wieder verdienter Maassen gehoben durch Arthur Chevalier, den gegenwärtigen Inhaber der Firma. Dieser liefert 10 Objectivsysteme, wovon die stärkeren mit Correctionseinrichtung versehen und ausserdem noch für Immersion eingerichtet sind. Die Preise dafür sind:

a) Gewöhnliche Objectivsysteme.

	Ohne Correction.		Mit Correction.
Nr. 1 bis 4 . .	20 Francs.		
" 5 " . .	25 "		
" 6 " . .	30 "	—	60 Francs.
" 7 " . .	35 "	—	75 "
" 8 " . .	50 "	—	100 "
" 9 " . .	80 "	—	125 "

*) Die Brennweiten äquivalenter Linsen sind hier sowohl wie in den weiterhin zu erwähnenden Fällen nach der früher (I, §. 116) erwähnten Methode bestimmt.

b) Immersionssysteme.

		Ohne Correction.		Mit Correction.
Nr. 7	. .	50 Francs.	—	80 Francs.
„ 8	. .	60 „	—	120 „
„ 9	. .	100 „	—	150 „
„ 10	. .	150 „	—	200 „

Ich habe die ganze Folge dieser Objective, mit Ausschluss von Nr. 5 untersucht; dieselben waren ohne Correctionseinrichtung, dagegen konnten die stärkeren auch für Immersion benutzt werden. Ausser der Brennweite bestimmte ich für einzelne auch noch den Oeffnungswinkel und die Grenze des Unterscheidungsvermögens.

Objectiv.	Brennweite.	Oeffnungs-winkel.	Unterscheidbarkeit	
			der Drähte eines Drahtgeflechtes.	der Maschenräume desselben.
1	46,0 mm	32°	—	—
2	16,7 „	—	—	—
3	10,0 „	—	—	—
4	6,0 „	—	0,278 mmm = $\frac{1}{3600}$ mm	0,556 mmm = $\frac{1}{1800}$ mm
6	4,2 „	—	0,184 „ = $\frac{1}{5440}$ „	0,386 „ = $\frac{1}{2720}$ „
7	2,44 „	—	—	—
Immersion. 8	2,23 „	141°	0,132 „ = $\frac{1}{7540}$ „	0,265 „ = $\frac{1}{3770}$ „
Immersion. 9	1,60 „	115°	—	—
Immersion. 10	1,50 „	132°	0,124 „ = $\frac{1}{8872}$ „	0,248 „ = $\frac{1}{4436}$ „

Mit Nro. 10 ist noch ein Interstitium von $0{,}215^{\text{mmm}} = \frac{1}{4657}^{\text{mm}}$ zwischen zwei parallelen Drähten unterscheidbar, nnd bei centrischer Beleuchtung wird noch die 13. Gruppe eines Nobert'schen Täfelchens mit 30 Gruppen zerlegt. Durch die schwächere Nro. 8, die aber einen grösseren Oeffnnngswinkel hat, erkennt man bei gleicher Beleuchtung die 12. Gruppe recht gut, nnd ebenso nnterscheidet man dadurch mit dem

Digitized by Google

schwächsten Oberhäuser'schen Oculare die Streifung auf *Pleurosigma angulatum*.

Ganz neuerdings erhielt ich durch Arthur Chevalier eine neue Reihe von Objectiven, womit ich folgende Resultate erzielte:

	Brennweite.	Nobert'sches Probetäfelchen mit 30 Gruppen bei centrischer Beleuchtung.
Nr. 1	23,3^{mm}	
„ 4	5,73^{mm}	6. Gruppe deutlich.
„ 7	2,33^{mm}	9. „ „
„ 8	2,26^{mm}	11. „ „
„ 10	1,78^{mm}	13. „ „

Nr. 8 und 10 sind Immersionssysteme.

Bei Vergleichung mit der anderen Reihe ersieht man, dass bei Chevalier so wenig, wie bei anderen Optikern, die gleichnumerigen Systeme die gleiche Brennweite haben. Nr. 10 der zweiten Reihe hat eine etwas grössere Brennweite als Nr. 9 der ersten Reihe; aber dessenungeachtet erreicht es im optischen Vermögen Nr. 10 der ersten Reihe. Dies beweist, dass Chevalier noch bis in die neueste Zeit in der Verbesserung seiner Objective fortgeschritten ist. Der Abstand dieses Systemes vom Objecte erlaubt es, auf letzteres Deckplättchen von $^1/_4$ Millimeter, ja selbst noch dickere zu legen.

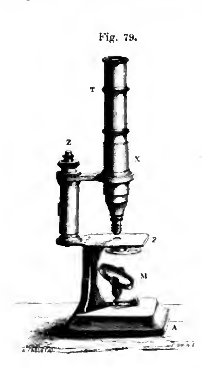
Diese Prüfungen zeigen, dass Arthur Chevalier's neuere Objectivsysteme zu den vorzüglicheren gehören und mit jenen aus anderen guten Werkstätten den Vergleich aushalten. Die Oeffnungswinkel sind zwar nicht gleich gross, wie bei manchen anderen; es steht aber noch dahin, ob dieses Verfahren auch eine entschiedene Nachahmung verdient.

Zu den Chevalier'schen Mikroskopen gehören drei Oculare, deren Vergrösserungen sich wie 1 : 1,6 : 2,5 verhalten. Durch Combination der Objective und Oculare lassen sich zahlreiche Vergrösserungswerthe von 23 bis 1500 erreichen, ja es kann die Vergrössernng eine 1900fache werden, wenn man das innere Rohr auszieht.

Die Mikroskopgestelle sind verschiedenartig, haben aber alle eine sorgfältige mechanische Einrichtung. Sein *Microscope universel* hat noch ziemlich die nämliche Einrichtung, als jenes des Vaters. Auch liefert er ein kleineres, ebenfalls horizontales Instrument. Dem praktischen Bedürfnisse mehr entsprechend sind seine übrigen Instrumente (10 verschiedene Sorten), deren Preise je nach dem Grade der Zusammensetzung, nach den zugehörigen Objectiven, Ocularen und sonstigen Beigaben wech-

seln. Die kleineren Mikroskope, wohin das *Microscope usuel* (Fig. 79) und das *Microscope d'étudiant* (Fig. 80) gehören, enthalten nur das unumgänglich Nothwendige; sie haben aber eine ganz zweckmässige Einrichtung und reichen für die meisten Untersuchungen aus.

Fig. 79.



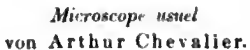
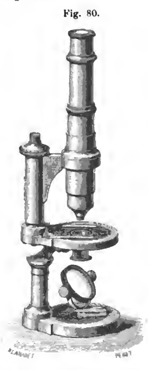

Microscope usuel
von Arthur Chevalier.

Fig. 80.



Microscope d'étudiant
von Arthur Chevalier.

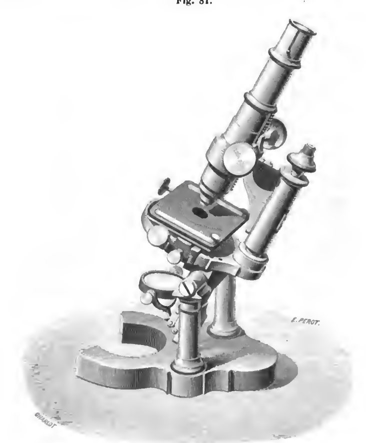
Das eine unter den grösseren Instrumenten hat einen auf zwei Säulen ruhenden Objecttisch, und der den Arm des Mikroskoprohres haltende Träger lässt sich wegnehmen und durch einen Träger mit einem Querarme ersetzen, worauf Doublets kommen, so dass dann aus dem zusammengesetzten Mikroskope ein einfaches Mikroskop geworden ist. Ein anderes Instrument hat einen besonderen drehbaren Objecttisch mit einer schwarzen Glastafel, und dieses Instrument kann auch eine geneigte Stellung bekommen.

Um den letztgenannten Zweck noch sicherer zu erreichen, ruhen die grösseren Mikroskope auf zwei Säulen, zwischen denen das Charnier sich dreht, und dadurch kann dem ganzen Mikroskope nebst dem Objecttische jeder Grad von Neigung verschafft werden. Die Construction erfolgt nach

Digitized by Google

zweierlei Modellen. Das grösste Instrument, welches als *Grand Microscope de Strauss* bezeichnet wird (Fig. 81), hat einen drehbaren Object-

Fig. 81.



Das grösste zusammengesetzte Mikroskop (*Grand Microscope de Strauss*) von Arthur Chevalier.

tisch, dem überdies noch ein in zwei Richtungen beweglicher Schlitten beigegeben ist, ferner Apparate zu centrischer und schiefer Beleuchtung, einen Reflexionsspiegel für auffallendes Licht, eine *Camera lucida*, ein Objecttischmikrometer und ein Ocularglasmikrometer. Werden alle Objective und Oculare dazu genommen, so kostet es 1300 Francs.

Charles Chevalier lieferte bereits 1839 ein ganz kleines zusammengesetztes Mikroskop mit lauter achromatischen Gläsern, das nur 4 Centimeter hoch war und sich bequem in der Tasche tragen liess; er nannte

Digitized by Google

es Diamantmikroskop. Ein solches Taschenmikroskop, nur etwas grösser, woran man nöthigenfalls alle Objective ansetzen kann, wird auch jetzt noch von Arthur Chevalier geliefert.

Es stand zu erwarten, dass der günstige Erfolg, welchen Vincent und Charles Chevalier hatten, bald auch Andere verlocken würde, ihre Kräfte zu versuchen. Die ersten Nachfolger in Paris waren Trécourt, Bouquet und Georg Oberhäuser; ihren vereinigten Bemühungen gelang es im Jahre 1830, Mikroskope zu Stande zu bringen, welche es wirklich den Chevalier'schen, deren eines zum Muster gedient hatte, zuvorthaten *). Dabei kommt ihnen das Verdienst zu, eingesehen zu haben, dass, wenn die neuere Mikroskopverbesserung für die Wissenschaft und deren Jünger wirklich fruchtbringend sein soll, die mechanische Einrichtung möglichst einfach sein muss, damit der geringere Preis es auch den weniger bemittelten Naturforschern möglich macht, sich ein zu den meisten Beobachtungen brauchbares Instrument anzuschaffen. Namentlich hat sich der in Anspach geborne Georg Oberhäuser in dieser Hinsicht grosse Verdienste erworben. Nachdem er sich von den beiden vorhin genannten Compagnons getrennt hatte, arbeitete er eine Reihe von Jahren hindurch für sich allein, und es giebt keine zweite Werkstatt, aus der eine gleich grosse Anzahl von Mikroskopen hervorgegangen ist. Ich erhielt von ihm im Jahre 1848 ein grosses Mikroskop, Nr. 1550, und Professor W. Vrolik empfing am 7. März 1850 das Mikroskop Nr. 1786, so dass also in noch nicht ganz anderthalb Jahren 236 Mikroskope aus dieser Werkstatt gekommen sind. Im Jahre 1859 erhob sich die Ziffer der gefertigten Mikroskope bereits auf mehr denn 3000.

Im Jahre 1857 verband sich Oberhäuser mit seinem Neffen E. Hartnack, und drei Jahre später übernahm Letzterer das ganze Geschäft und betreibt es jetzt unter seinem Namen.

Während der Reihe von Jahren, wo sich Oberhäuser mit der Verfertigung von Mikroskopen beschäftigte, hat er allmälig in ihrer Einrichtung einige Modificationen eintreten lassen. Als *Grand Microscope*

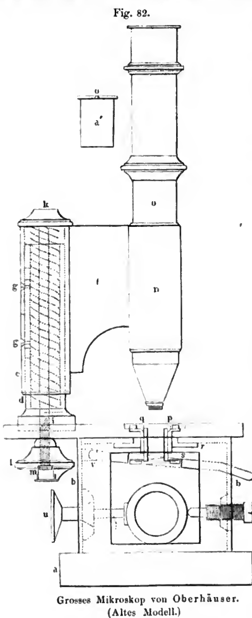
---

*) Einige Jahre später entstand ein Federkrieg über die relative Tüchtigkeit ihrer Mikroskope, durch ein Paar Artikel von Saigey im Feuilleton des *National* (Aout 1835) hervorgerufen, worin Trécourt's Mikroskop angepriesen wurde. Ch. Chevalier antwortete darauf. Später gab dann Chevalier die Artikel Saigey's und seine eigenen unter dem Titel heraus: *Notes rectificatives pour servir à l'histoire des microscopes*. Paris 1835, in welchem Schriftchen manche Einzelnheiten über die erste Verfertigung achromatischer Mikroskope in Paris zu finden sind.

Digitized by Google

achromatique lieferte er bis vor 17 Jahren ein Instrument, welches nach Mohl in Fig. 82, gerade von vorn angesehen, dargestellt ist. In der allgemeinen Form weicht dasselbe in mehreren Hinsichten von den früheren Mikroskopen ab, namentlich in Betreff des Fusses. Dieser Fuss *a a* ist eine schwere, mit Blei gefüllte Trommel, auf welche eine kurze aber weite cylindrische Röhre *b b* geschraubt wird, die vorn eine vierseitige Oeffnung hat. Der grosse runde Objecttisch lässt sich um seine Axe drehen, indem die damit verbundene Scheibe *r* sich in einer runden Oeffnung oben in der Röhre *bb* bewegt. In dem Objecttische, in gleicher Höhe mit dessen Rande, befindet sich eine schwarze, matt geschliffene Glasscheibe, die ganz eben ist; doch können zwei Klemmfedern in dafür bestimmte Oeffnungen kommen, um die Objecte fest zu halten. Auf einer seitlichen Verlängerung dieses Objecttisches ist die runde hohle Säule *d* aufgeschraubt. Diese liegt der Röhre *e* genau an, die durch eine starke Spiralfeder in der hohlen Säule *d*, welche an das obere,

Fig. 82.



Grosses Mikroskop von Oberhäuser. (Altes Modell.)

knopfförmig geschlossene Ende *k* der Röhre *e* stösst, nach aufwärts gedrückt wird. An dem Knopfe *k* ist die feine Schraube *i* befestigt, deren anderes Ende unter dem Objecttische herauskommt, wo sie einen geränderten Knopf *l* mit einer Mutterschraube trägt. Durch Umdrehen dieses Knopfes wird die Schraube und mit dieser die Röhre *e* sowie das daran befestigte Mikroskoprohr nach unten gezogen; beim Zurückdrehen der Mutterschraube dagegen werden diese Theile durch die Spiralfeder nach oben bewegt. Den Bewegungen der Mutterschraube ist dadurch eine Grenze gesetzt, dass sie eine kleine Höhle enthält für die auf das Schraubenende geschraubte kleine Scheibe *m*, um die Auslösung der Schraubenmutter zu verhindern, und um anderntheils, wenn sie auf den Boden der Höhle stösst, das zu tiefe Herabsteigen der Schraube zu hemmen. Dem Drehen der Röhre *e* in horizontaler Richtung um die Säule *d* ist dadurch vorgebeugt, dass ein Theil der letzteren ausgeschnitten und durch die Schrauben *gg* an die umgebende Röhre befestigt ist; so hat man einen Schieber, der nur eine Bewegung in senkrechter Richtung zulässt. An die Röhre *e* ist durch den Arm *f* die seitlich aufgeschnittene und dadurch federnde Röhre *n* befestigt, in der sich das Mikroskoprohr *o* auf- und niederschieben lässt.

Der Beleuchtungsapparat besteht aus folgenden Theilen. Gegenüber dem Rohre *bb* steht der Spiegel, welcher durch den nach aussen vorragenden Knopf *u* nur um seine horizontale Axe drehbar ist; derselbe ist auf der einen Seite eben, auf der anderen concav, und er befindet sich in solcher Entfernung von dem Objecttische, dass ein auf letzterem liegendes Object gerade den Brennpunkt des Spiegels einnimmt. In der Oeffnung des Objecttisches steckt eine Röhre *p*, in der sich eine zweite Röhre *q* auf- und niederschieben lässt, welche zur Aufnahme von Diaphragmen bestimmt ist; es ist ein kurzes Röhrchen *a'*, welches unten offen ist und an der sonst geschlossenen oberen Seite eine verschieden weite Oeffnung besitzt. Die Röhre *q* endigt unten in einen horizontal nach aussen vorspringenden Rand, welcher in die Höhlung des Ringes *s* aufgenommen wird; dieser aber ruht auf dem Hebel *t*, der sein Hypomochlium in *v* hat, so dass durch ihn die Röhre *q* und damit die Diaphragmen in der Röhre *p* höher und niedriger gestellt werden können. Somit lässt sich das vom Spiegel kommende Lichtbündel schmäler oder breiter machen.

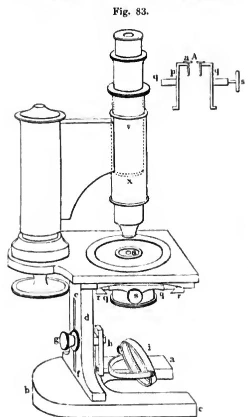
Ohne Zweifel gewährt dieses Gestell grosse Vortheile bei der praktischen Benutzung des Mikroskopes. Durch den schweren Fuss wird dem Umwerfen des Instrumentes vorgebeugt, und die Festigkeit des Ganzen gewinnt dadurch. Das Ocular steht so hoch über dem Tische, dass jemand von mittlerer Grösse sitzend daran arbeiten kann, was doch bei langwährenden Untersuchungen auch in Betracht zu ziehen ist. Ferner ist der grosse Objecttisch für viele Fälle recht zweckmässig. Endlich

sind auch die Mittel, um das Mikroskop in die richtige Entfernung vom Objecte zu bringen, gut und zweckmässig ausgedacht. Nicht das Nämliche lässt sich vom Beleuchtungsapparate sagen, namentlich vom Spiegel; bei der beschränkten Bewegung passt er nur für centrische Beleuchtung, nicht aber für excentrische.

Oberhäuser hat diese Mängel selbst eingesehen, und im Jahre 1848 brachte er an dem eben beschriebenen Gestelle einige abhelfende Veränderungen an, ohne dadurch die früheren Vorzüge zum Opfer zu bringen. Dieses neuere Mikroskop ist Fig. 83 von der Seite in perspectivischer Ansicht dargestellt.

Statt der mit Blei gefüllten Trommel hat es einen schweren hufeisenförmig gestalteten Bogen *abc* aus Messing, auf dem sich nach hinten rechtwinkelig das kurze und schwere, unten breit anfangende Stück *d* erhebt, welches in der Mitte den Ausschnitt *ef* besitzt. In diesem Ausschnitte bewegt sich ein vierseitiges Stück mit dem Knopfe *g*. Vorderhalb des Ausschnittes steht dies vierseitige Stück mit der Kurbel *h* in Verbindung, die sich vertical herumdrehen lässt, so dass der daran befestigte Spiegel *i* in alle Richtungen kommen und höher oder tiefer gestellt werden kann. Bei dieser neuen Einrichtung konnte auch der frühere Hebel zum Auf- und Niederbewegen der Diaphragmen wegfallen; denn da der Objecttisch ganz frei ist, lässt sich dies ganz leicht mit der Hand ausführen. Bei *A* ist im Durchschnitte dargestellt, wie das Diaphragma *a* in der

Fig. 83.



Grosses Mikroskop von Oberhäuser.
(Neueres Modell.)

Röhre *p* steckt, die ihrerseits in einer runden Oeffnung des vierseitigen Stückes *qq* gleitet. Dieses hat schief abgeschnittene Ränder, welche in einen weiten schwalbenschwanzförmigen Ausschnitt *rr* unter dem Objecttische passen. Der Knopf *s*, welcher mit dem vierseitigen Stücke *qq* verbunden ist, dient dazu, um es herauszunehmen; mittelst desselben kann man aber auch die Oeffnung des Diaphragma etwas aus der Axe des Instrumentes bewegen, so dass der Randschatten ins Gesichtsfeld trifft, was in manchen Fällen zweckmässig ist.

Der Objecttisch ist ebenfalls etwas verändert. Er ist vierseitig und hat etwa 10 Centimeter Durchmesser; statt der schwarzen Glasplatte kommt eine messingene Scheibe, die gleich dem schwarzen Objecttische selbst matt schwarz gemacht ist, in die grosse kreisförmige Höhle desselben, so dass dieser nun eine ganz ebene Oberfläche hat mit einer kleinen runden Oeffnung in der Mitte.

Die übrigen Einrichtungen des früheren Mikroskopes, nämlich das Umdrehen des Objecttisches zugleich mit dem Mikroskopkörper, die Säule mit der Schraube und Spiralfeder, desgleichen der breite Arm, welcher das Mikroskoprohr trägt, sind unverändert geblieben. Nur besteht das Mikroskoprohr aus zwei Röhren, von denen die obere *t* in der unteren *x* sich auf- und niederschiebt, um den Abstand zwischen Ocular und Objectiv zu vergrössern oder zu verkleinern. Ist das innere Rohr ausgezogen, dann steht das Ocular 36 Centimeter über dem Tische, ist es ganz hineingeschoben, nur 30 Centimeter; man kann daher bequem im Sitzen arbeiten.

Durch diese Aenderungen ist das Gestell des grossen Oberhäuser'schen Mikroskopes wirklich sehr verbessert worden. Wir werden zwar weiterhin noch einige andere kennen lernen, die es ihm in der zierlichen Form, in der künstlichen Bewegung und in mancherlei Bequemlichkeiten für den wenig Geübten voraus thun; aber ich kenne keines, dem ich vor ihm den Vorzug geben möchte, wenn es darauf ankommt, nicht blos zwischendurch einmal während einiger Augenblicke durch das Mikroskop zu sehen, sondern täglich einige Stunden damit zu arbeiten. — Der Beleuchtungsapparat ist allerdings kein vollkommener, er reicht aber für die meisten Untersuchungen aus. Uebrigens ist zwischen dem Fusse und dem Objecttische Raum genug vorhanden, um einen vollständigen Beleuchtungsapparat anzubringen, wie ich es bei meinem Instrumente gethan habe, das ich später geeigneten Orts beschreiben werde.

Ausser diesem Gestelle für das grösste Mikroskop hat Oberhäuser und sein Nachfolger Hartnack noch sechs andere; ausserdem auch noch ein bildumkehrendes Dissectionsmikroskop, von dem später die Rede sein wird. Diese anderen Mikroskopgestelle sind einfacher und deshalb wohlfeiler, und es ist gerade Oberhäuser's Verdienst, gute Mikroskope zu einem auch vom Unbemittelten zu erschwingenden Preise geliefert zu

Digitized by Google

haben. Viele Andere sind dann diesem Beispiele gefolgt. Es ist aber Pflicht des Geschichtsschreibers, darauf hinzuweisen, dass Oberhäuser es den jüngeren Naturforschern möglich gemacht hat, sich um weniges Geld brauchbare Instrumente zu wissenschaftlichen Untersuchungen zu verschaffen, und dass er hierdurch wirksam zur Ausbreitung mikroskopischer Kenntnisse beigetragen hat.

Die kleineren Oberhäuser'schen Mikroskopgestelle *) haben auch eine weit grössere Verbreitung gefunden, als die grösseren Instrumente. Die, welche Oberhäuser in früheren Jahren lieferte, hatten übrigens einen sehr kleinen Objecttisch, so dass man nur sehr schmale Objectgläschen benutzen konnte. Neuerer Zeit ist dieser Unvollkommenheit abgeholfen worden, und ausserdem wurde die Schraube zur feinen Einstellung, die sich früherhin zur Seite des Objecttisches befand, unten angebracht, gleichwie bei den grösseren Mikroskopen. Der trommelförmige Fuss ist aber geblieben, und folglich ist der nur in Einer Richtung bewegliche Spiegel nicht passend zur excentrischen Beleuchtung.

Eine weit grössere Bedeutung, als die Benutzung dieses oder jenes Gestelles, haben aber auch hier, wie bei allen anderen Mikroskopen, die dazu gehörigen Linsensysteme und Oculare. Oberhäuser hatte elf verschiedene Linsensysteme, die er als Nr. 1, 2, 3, 4, 4 A, 4 B, 5, 6, 7, 8, 9 bezeichnete. Ich füge in der folgenden Tabelle die Brennweiten und die Vergrösserung der äquivalenten Linsen bei, denen jene Systeme ungefähr entsprechen:

	Brennweite.	Vergrösserung.
Nr. 1	65mm	5
2	33	9
3	22	13
4	13,02	20
4 A	8,5	30
4 B	7,7	34
5	6.5	40
6	5,4	49
7	3,22	80
8	2,50	101
9	1,70	148

*) Es muss übrigens bemerkt werden, dass diese Form des Mikroskopgestelles zum ersten Male bei dem im Jahre 1739 verfertigten Martin'schen Taschenmikroskope vorkommt und seitdem von verschiedenen Optikern für weniger kostbare Mikroskope benutzt wurde, wenngleich immer mit einigen Modificationen

In den letzten Jahren hat Hartnack noch zwei stärkere Objectivsysteme Nr. 10 und 11 zugefügt, auf die ich weiterhin noch zurückkomme.

Naturlicherweise sind diese Brennweiten nicht immer vollkommen gleich für jedes System, welches die nämliche Nummer trägt. Ich habe aber gefunden, dass bei Mikroskopen, die kurz nach einander geliefert waren, zwischen den gleichnamigen Linsensystemen wirklich nur ein unbedeutender Unterschied vorkommt. Auch muss ich noch bemerken, dass die vorstehenden Werthe nur für Nr. 4, 7, 8 und 9 durch directe Versuche festgestellt wurden, die übrigen aber aus den von Oberhäuser selbst in seinem Preiscourante angegebenen Vergrösserungeu mit dem ersten Oculare berechnet und also nur annähernd richtig sind.

Dazu gehören fünf Oculare, alle mit Huygens'scher Einrichtung. Bei einem Mikroskope vom Jahre 1848 verhielt sich ihr Vergrösserungsvermögen in folgender Weise zu einander:

Nr. 1.	Nr. 2.	Nr. 3.	Nr. 4.	Nr. 5.
1 :	1,04 :	1,30 :	2,55 :	2,93

Der Durchmesser des Gesichtsfeldes für 25 Centimeter Sehweite war:

106	80	130	168	176 Millimeter.

Bei der gewöhnlichen Länge der Oberhäuser'schen Mikroskope wächst die Vergrösserung des Objectivsystemes durch das erste oder schwächste Ocular etwa 2,5 Male. Da die Hartnack'schen Objective und Oculare in der Vergrösserung nahezu mit denen seines Vorgängers Oberhäuser übereinstimmen, so kann jeder, der sich von dort ein Mikroskop bestellen will, aus den vorstehenden Zahlen sich ohne viele Mühe ziemlich genau berechnen, wie die verschiedenen Combinationen von Objectivsystemen und Ocularen vergrössern, und welcher er mithin je nach den besonderen Zwecken des Mikroskopes bedarf. Die schwächste Vergrösserung erhält man mit Objectiv Nr. 1 und Ocular Nr. 1 = 5 . 2,5 oder 12½ Male; die stärkste mit Objectiv Nr. 9 und Ocular Nr. 5 = 148 . 2,5 . 2,93 oder 1084 Male. Mit den bereits erwähnten stärksten Hartnack'schen Objectiven Nr. 10 und 11 erhält man eine 1200- und 1400fache Vergrösserung, und durch Ausziehen des Rohres wachsen diese Vergrösserungswerthe noch gut um die Hälfte.

Die kleineren Mikroskope der Firma Oberhäuser, jetzt Hartnack (*Place Dauphine*, Nr. 21) haben gewöhnlich die Objective Nr. 4 und 7, und die Oculare Nr. 2 und 3; die Vergrösserung wechselt dann von 40 bis zu 240. Die Oculare Nr. 3 und 4 verdienen aber den Vorzug, da mit dem letzteren

---

und mehr oder weniger erheblichen Verbesserungeu; so nach Martin von Brander, nach diesem von Fraunhofer, weiterhin von Trécourt und Oberhäuser, denen nun gegenwärtig mehrere französische und deutsche Verfertiger von Mikroskopen folgen.

nicht blos die Vergrösserung wächst, sondern auch, wie sich sogleich zeigen wird, das optische Vermögen etwas zunimmt, selbst bei den stärkeren Systemen. Wendet man noch ein Paar Gulden mehr an und nimmt auch das Objectivsystem Nr. 8 oder 9 dazu, so wird man selten in den Fall kommen, eines noch vollständigeren optischen Apparates zu bedürfen.

Die folgenden Resultate der Prüfung des im Jahre 1848 erhaltenen grossen Oberhäuser'schen Mikroskopes mögen für die Beurtheilung des optischen Vermögens der damals gelieferten Instrumente maassgebend sein. Es wird aber genügen, wenn ich blos anführe, was ich an den drei stärksten Linsensystemen gefunden habe.

Linsensystem.	Brennweite.	Oeffnungswinkel *).	Ocular.	Vergrösserung.	Nobert's Probetäfelchen **).
Nr. 7	3,22mm	58°	Nr. 3	268	Siebente Gruppe deutlich.
—	—	—	4	501	Dieselbe noch deutlicher.
8	2,50	60	3	345	Desgleichen.
—	—	—	4	646	Sechste Gruppe deutlich.
9	1,70	63	3	520	Neunte Gruppe eben deutlich.
—	—	—	4	951	Achte Gruppe deutlich.

In der Tabelle auf folgender Seite habe ich die Grenzen der Sichtbarkeit und der Unterscheidbarkeit bei Benutzung eines Oberhäuser'schen Mikroskopes zusammengestellt:

*) Der Oeffnungswinkel ist nach der Lister'schen Methode (l. §. 121) bestimmt worden.

**) Siehe S. 48. Anm.

Linsen-system.	Ocular.	Vergrösse-rung.	Kugelförmige Objecte.	Fadenförmige Objecte.	Drahtnetz. Drähte.	Drahtnetz. Maschen-räume.
Nr. 7	Nr. 3	268	0,274^{mmm} $\frac{1}{3650}$ mm	0,0343^{mmm} $\frac{1}{29100}$ mm	0,261^{mmm} $\frac{1}{3840}$ mm	0,429^{mmm} $\frac{1}{2430}$ mm
	4	501	0,266^{mmm} $\frac{1}{3760}$ mm	0,0308^{mmm} $\frac{1}{32500}$ mm	0,224^{mmm} $\frac{1}{4470}$ mm	0,368^{mmm} $\frac{1}{2720}$ mm
	5	577	0,287^{mmm} $\frac{1}{3490}$ mm	0,0290^{mmm} $\frac{1}{34500}$ mm	0,228^{mmm} $\frac{1}{4400}$ mm	0,375^{mmm} $\frac{1}{2630}$ mm
Nr. 8	Nr. 3	345	0,233^{mmm} $\frac{1}{4290}$ mm	0,0300^{mmm} $\frac{1}{33300}$ mm	0,234^{mmm} $\frac{1}{4280}$ mm	0,385^{mmm} $\frac{1}{2600}$ mm
	4	646	0,249^{mmm} $\frac{1}{4020}$ mm	0,0273^{mmm} $\frac{1}{37000}$ mm	0,220^{mmm} $\frac{1}{4560}$ mm	0,363^{mmm} $\frac{1}{2750}$ mm
	5	743	0,268^{mmm} $\frac{1}{3740}$ mm	0,0260^{mmm} $\frac{1}{38500}$ mm	0,232^{mmm} $\frac{1}{4310}$ mm	0,380^{mmm} $\frac{1}{2630}$ mm
Nr. 9	Nr. 3	520	0,206^{mmm} $\frac{1}{4850}$ mm	0,0231^{mmm} $\frac{1}{43300}$ mm	0,201^{mmm} $\frac{1}{4970}$ mm	0,333^{mmm} $\frac{1}{3000}$ mm
	4	951	0,230^{mmm} $\frac{1}{4350}$ mm	0,0231^{mmm} $\frac{1}{42800}$ mm	0,180^{mmm} $\frac{1}{5550}$ mm	0,297^{mmm} $\frac{1}{3340}$ mm
	5	1084	0,234^{mmm} $\frac{1}{4280}$ mm	0,0240^{mmm} $\frac{1}{41700}$ mm	0,179^{mmm} $\frac{1}{5580}$ mm	0,295^{mmm} $\frac{1}{3390}$ mm

Diese Zahlen sind sicherlich für die Tüchtigkeit der damaligen Oberhäuser'schen Mikroskope beweisend. Die Objectivsysteme aber, welche Hartnack in den letzten Jahren zusammensetzte, übertreffen noch jene seines Vorgängers. Im Besonderen hat dieser sich dadurch verdient gemacht, dass er, dem Beispiele Amici's folgend, Immersionssysteme construirte. Doch hat er die Immersion nur bei den stärksten Systemen Nr. 9, 10 und 11 in Anwendung gebracht.

An einem Hartnack'schen Immersionssysteme Nr. 10 vom Jahre 1860 fand ich die Brennweite von 1,60 bis 1,78 Millimeter wechselnd, je nach der Stellung des Correctionsapparates. Waren die Linsen einander am meisten genähert, war somit die Brennweite am kürzesten, so betrug der totale Oeffnungswinkel 172°, sein nutzbarer Theil aber etwa 140°. Ungeachtet dieses bedeutend grossen Oeffnungswinkels war das Linsensystem noch recht gut bei Deckplättchen von 0,3^{mm} Dicke zu verwenden. Bei centrischer Beleuchtung mit parallelem Lichte wurde die 15. Gruppe eines Nobert'schen Probetäfelchens mit 30 Gruppen unter-

Digitized by Google

schieden, ja selbst in der 16. Gruppe wurden theilweise die feinen Striche erkannt. Bei ganz schief einfallendem Lichte und sehr genauer Einstellung des Correctionsapparates gelang es sogar, in der 30. oder letzten Gruppe noch ganz feine Linien zu erkennen. Als Grenzen der Sichtbarkeit und Unterscheidbarkeit ergaben sich für:

Kugelförmige Objecte . .	$0{,}152^{mmm}$	$= \frac{1}{6580}$	Millimeter.
Fadenförmige Objecte . . .	0,022 „	$= \frac{1}{45500}$	„
Drähte eines Drahtnetzes	0,116 „	$= \frac{1}{8624}$	„
Maschen dieses Netzes . .	0,232 „	$= \frac{1}{4314}$	„
Parallel gespannte Drähte	0,113 „	$= \frac{1}{8770}$	„
Deren Interstitien	0,192 „	$= \frac{1}{5210}$	„

Als dieses Hartnack'sche Objectivsystem Nr. 10 zuerst käuflich wurde, zeichnete es sich unzweifelhaft vor allen bis dahin auf dem Continente gefertigten durch das stärkste optische Vermögen aus. Einige der stärksten englischen Systeme standen zwar in dieser Beziehung noch höher; für den praktischen Gebrauch hatte aber das Hartnack'sche Objectiv den Vorzug durch die grössere Distanz zwischen Object und unterster Linse. Eine ausführlichere Mittheilung über dieses Objectiv gab ich in *Versl. en Mededeel. der Kon. Akad.* 1861, XI, p. 266. (Poggendorff's *Annal.* CXIV, p. 82 bis 99.)

Späterhin hat Hartnack ein noch stärkeres Immersionssystem Nr. 11 zu Stande gebracht. Im Jahre 1864 lieferte er ein solches nach Antwerpen an Henri van Heurck, der bereits im ersten Bande der *Annales de la Société physiologique d'Anvers (Notice sur un nouvel objectif à immersion et à correction, construit par E. Hartnack, suivi de recherches sur le Navicula affinis)* sehr günstig darüber berichtet hat. Ich selbst habe dieses Objectiv ebenfalls untersuchen können und gefunden, dass die Brennweite je nach der verschiedenen Stellung des Correctionsapparates zwischen 1,28 und 1,44^{mm} wechselt *). Der Abstand vom Objecte ist somit noch gross genug für Deckplättchen, die 0,25^{mm} dick sind. Den Oeffnungswinkel bestimmte ich nach Wenham's Methode Abends, wo jegliches Licht ausser jenem einer leuchtenden Flamme abgeschnitten war: an

*) Nach van Heurck, dem es wahrscheinlich Hartnack selbst mitgetheilt hat, haben die drei Linsen dieses Objectivs folgende Brennweiten: a) 2,75 Linien = 5,19 Millim.; b) 1,5 Linie = 3,38 Millim.; c) 0,75 Linie = 1,69 Millim.

den Rändern des Gesichtsfeldes war noch ein Lichtschein bemerkbar, wenn der Winkel der durchlaufenen Strecke 176° betrug; ja selbst bei einem Winkel von 177° trat dieser Lichtschein noch auf. So viel mir bekannt, ist das der grösste Oeffnungswinkel, der bis jetzt einem Objectivsysteme gegeben worden ist. Der wirklich nutzbare Theil indessen, innerhalb dessen das Flammenbildchen noch scharf hervortritt, hat nur ungefähr 150°. Bei centrischer Beleuchtung mit parallelem Lichte und genauer Einstellung des Correctionsapparates treten mit diesem Linsensysteme alle Linien der 16. Gruppe des Nobert'schen Täfelchens deutlich hervor. Als äusserste Grenze der Unterscheidbarkeit fand ich für:

Drähte eines Drahtnetzes .	0,108^{mmm}	$= \frac{1}{9225}$	Millim.
Maschen dieses Netzes. . .	0,222 „	$= \frac{1}{4500}$	„
Parallel gespannte Drähte	0,104 „	$= \frac{1}{9615}$	„
Deren Interstitien.	0,182 „	$= \frac{1}{5500}$	„

Dass diesen beiden Hartnack'schen Objectiven die Zeichnungen der bekannten schwierigen Probeobjecte (I., S. 323) nicht widerstehen, bedarf kaum der Erwähnung. In dieser Beziehung sind sie einander ziemlich gleich, doch erkennt man die Einzelnheiten mit Nr. 11 noch etwas leichter.

Zu allen Prüfungen benutzte ich ein Kellner'sches Ocular, das etwa 6 Mal vergrössert; für die verschiedenen Probeobjecte aber ist schon das schwächste Oberhänser'sche Ocular ganz ausreichend.

Das schwächere Immersionssystem Nr. 9 habe ich nicht selbst zu untersuchen Gelegenheit gehabt. Nach den Mittheilungen von Naegeli und Schwendener kann es aber den beiden stärkeren Systemen nur wenig nachstehen *).

---

*) Zur Bestimmung des Unterscheidungsvermögens verschiedener Mikroskope haben Naegeli und Schwendener (*Das Mikroskop*, I., S. 123) nach meiner Methode ebenfalls Luftbläschen benutzt und die erhaltenen Resultate an genannter Stelle mitgetheilt. Da ihre Maasse auf einer etwas veränderten Basis beruhen, so ist eine unmittelbare Vergleichung der beiderseitigen Resultate nicht möglich. Als Maschendurchmesser gilt ihnen nämlich der Durchmesser des Drahts zusammen mit dem Interstitium, weil sie gefunden haben wollen, dass bei verschiedenen Drahtnetzen, wo die Dicke des Drahts und des Interstitiums von 1:5 bis 1:2 wechselte, immer nahezu die nämlichen Resultate herauskommen. Ich bezweifele jedoch, dass dem wirklich so ist; jedenfalls halte ich es für zuverlässiger, wenn beiderlei Durchmesser besonders genommen werden. Um nun meine Ergebnisse mit jenen von Naegeli und Schwendener vergleichbar zu machen, müssen die beiderlei Durchmesser zusammen addirt werden. Jene fanden aber, dass mit dem

Hartnack hat jetzt folgende Preise für seine Objectivsysteme:

a. Gewöhnliche Objective ohne Correctionseinrichtung 7.

Nr. 1	15 Francs
„ 2	20 „
„ 3	25 „
„ 4	30 „
„ 5	35 „
„ 6	40 „
„ 7	40 „
„ 8	50 „

b. Immersionssysteme mit Correction.

Nr. 9	150 Francs
„ 10	200 „
„ 11	250 „

Das oben beschriebene grosse Mikroskop mit Hufeisenstativ, mit den Objectiven Nr. 2, 4, 7, 8, 9, mit 5 Ocularen, wovon Nr. 2 mit einem Glasmikrometer versehen ist, mit einer grossen Beleuchtnngslinse für anffallendes Licht kostet 750 Francs. Kommen die übrigen Objective dazu, dann kostet es 1315 Francs. Ein kleineres Mikroskop mit Hufeisenstativ ohne beweglichen Objecttisch, mit den Objectiven Nr. 4, 7 und 9, sowie mit drei Ocnlaren, kostet 375 Francs.

Kleinere Mikroskope mit Trommelstativ, mit den Objectiven 4 und 7, mit 2 Ocularen, die für die meisten Untersuchnngen ganz ausreichend sind, kosten 140 Francs.

Immersionssysteme Nr. 9, welches 1,87 Millim. Brennweite hat, und nnter Benutzung des Oculars Nr. 3, noch Maschen von $0{,}45^{mmm}$ Durchmesser erkannt werden, nnd sie fügen hinzu, dass bei günstigster Vermehrung der Ocularvergrösserung dieser Durchmesser bis zu $0{,}3^{mmm}$ herabgehen konnte. Nach dem Vorausgehenden sind die entsprechenden Werthe für die Systeme Nr. 10 und 11 $= 0{,}348^{mmm}$ und $0{,}333^{mmm}$. Da diese Zahlen nnter den günstigsten Umständen nnd mit einem zwar starken, doch nicht zu starken Oculare erhalten wurden, so wird der mit einem Oculare des nämlichen Opticus erhaltene, anffallend kleinere Werth von $0{,}3^{mmm}$ sich nnr dadurch erklären lassen, dass der Durchmesser der kleinsten noch sichtbaren Maschen auf eine andere Weise ausgedrückt ist, oder dass die Gefühlsschärfe der Augen differirte.

In der letzten Zeit habe ich statt eines Drahtnetzes vielfach zwei parallele Drähte benutzt. Als Drähte können zwei geschwärzte Nähnadeln dienen, an deren Enden etwas Canadabalsam kommt, wodurch sie auf einer Glastafel neben einander befestigt werden. Meine Nadeln maassen ungefähr halb so viel als das Interstitium zwischen ihnen. Für solche Drähte liegt die Grenze der Unterscheidbarkeit immer auffallend ferner, als für die Maschen eines Drahtnetzes, und das ist nicht anders zu erwarten, da ja der Unterschied hier ganz ähnlich ist, als wenn wir fadenförmige oder aber rundliche oder vierseitige Objecte betrachten.

Digitized by Google

Als dritte Pariser Firma, welche nebst den beiden vorigen oben an steht, ist Nachet et fils (*Rue Saint-Severin*, 17) zu nennen. Zuerst wurden seine stärkeren Objective im Jahre 1845 von Lebert rühmlich erwähnt. Seit 1849 bis in die jüngste Zeit habe ich Gelegenheit gehabt, viele der von Nachet gelieferten Instrumente zu untersuchen und mich davon überzeugt, dass er sich die Verbesserung seiner Instrumente fortwährend hat angelegen sein lassen, in der mechanischen sowohl als in der optischen Einrichtung. Ich muss hinzufügen, dass namentlich die Londoner Weltausstellung, wo er die vorzüglichen Mikroskope von Ross, von Powell und von Smith kennen lernte, für ihn fruchtbringend geworden ist. Früherhin hat er sich vorzüglich die Instrumente von Oberhäuser als Muster genommen; in der letzteren Zeit aber die genannten englischen Optiker, jedoch nicht als sklavischer Nachahmer, sondern immer mit einigen Veränderungen in der mechanischen Einrichtung, die sich in der Regel als eben so viele Verbesserungen erweisen.

Nachet hat neun verschiedene Objectivsysteme, die stärkeren, wenn es verlangt wird, auch mit einer Correctionseinrichtung für verschieden dicke Deckplättchen versehen, ganz nach der später zu beschreibenden Methode von Ross.

Folgendes sind die Brennweiten *) und die Preise dieser Objective:

Objective.	Brennweite.	Gewöhnliche Objective		Immersionssysteme	
		ohne Correction.	mit Correction.	ohne Correction.	mit Correction.
Nro. 0	27 Millim.	15 Francs	—	—	—
„ 1	12 „	20 „	—	—	—
„ 2	6 „	20 „	—	—	—
„ 3	4,8 „	25 „	50 Francs	—	—
„ 4	3,2 „	30 „	60 „	—	—
„ 5	2,5 „	35 „	75 „	50 Francs	80 Francs
„ 6	2,0 „	50 „	100 „	60 „	120 „
„ 7	1,6 „	80 „	125 „	100 „	150 „
„ 8	1,3 „	—	—	—	200 „

Liefert Nachet diese Objective zu einem Mikroskope, das nicht von ihm selbst ist, dann erhöht sich der Preis um 20 bis 25 Proc.

*) Es gilt hier das Nämliche, was schon vorhin (S. 154) von den Oberhäuser'schen und Chevalier'schen Objectiven bemerkt wurde. Es kommen kleine Verschiedenheiten in den Brennweiten der gleichnamigen Systeme vor; sie betragen freilich niemals mehr als Bruchtheile des Millimeters, was aber bei den stärkeren Systemen einen bemerkbaren Einfluss übt.

Digitized by Google

Unter den Mikroskopverfertigern des Continents war Nachet nach Amici der Erste, der sich um die Vergrösserung des Oeffnungswinkels seiner Objective bemühte. Im Jahre 1856 bekam ich ein Objectiv Nr. 7 mit Correctionseinrichtung, dessen Brennweite bei stärkster Annäherung der Linsen 1,47 Millimeter betrug: es hatte einen Oeffnungswinkel von 148°. Das Objectiv Nr. 8, welches Nachet zwei Jahre später lieferte, hatte nur 1,07 Millimeter Brennweite (die kleinste unter allen bis dahin gelieferten Objectiven) und einen Oeffnungswinkel von 140°.

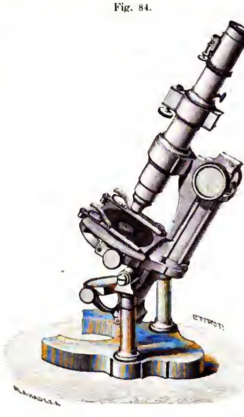
Durch Hartnack's Fortschritte angespornt, hat Nachet weiterhin seine Objectivsysteme noch mehr verbessert und auch zur Immersion eingerichtet. Im Jahre 1864 bekam ich von ihm ein Immersionssystem Nr. 7, dessen optisches Vermögen mit Hartnack's Nr. 10 auf ganz gleicher Stufe steht: die Brennweite beträgt 1,7 Millim., der Oeffnungswinkel 160°, die 15. Gruppe eines Nobert'schen Probetäfelchens ist bei centrischer Beleuchtung mit parallelen Strahlen ganz deutlich, und auch anderen Probeobjecten gegenüber ist kein Unterschied zwischen ihm und dem Hartnack'schen Objective. Nur in Einem Punkte steht Nachet's Objectiv nach, der Abstand des Objectes von der untersten Linsenfläche ist kleiner, und dadurch erfährt die praktische Benutzung eine gewisse Beschränkung.

Ganz neuerdings erhielt ich von Nachet ein Immersionssystem Nr. 8, dessen Brennweite bei grösster Annäherung der Linsen durch den Correctionsapparat 1,6 Mm. beträgt. Es hat also eine merklich grössere Brennweite, und natürlich fällt dann auch die Vergrösserung geringer aus, als bei dem früheren gleichnumerigen Systeme. Dagegen hat aber dieses System ein stärkeres optisches Vermögen. Bei centrischer Beleuchtung ist die 16. Gruppe des 30gruppigen Nobert'schen Probetäfelchens ganz deutlich und scharf. Es übertrifft darin noch etwas das ungefähr gleich starke System Nr. 10 Hartnack's und steht fast auf gleicher Stufe mit Hartnack's Nr. 11.

Nachet hat mehrere Arten von Mikroskopgestellen. Für seine grossen Mikroskope hatte er zuerst das Oberhänser'sche mit dem trommelförmigen Fusse zum Muster genommen. Da sich aber bei dieser Einrichtung der Spiegel nur um eine horizontale Axe dreht, mithin nur centrische Beleuchtung möglich ist, so half er diesem Mangel auf verständige Weise dadurch ab, dass er ein Prisma zwischen den Spiegel und das Object brachte, worauf das Licht unter einem Winkel von 30° auffällt. Die nähere Beschreibung wird in dem Abschnitte von den Beleuchtungsapparaten kommen. Jetzt hat aber Nachet dieses Modell ganz aufgegeben. Seine grössten und besten Mikroskope haben jetzt die Einrichtung, welche in Fig. 84 (a. f. S.) dargestellt ist, dass nämlich, wie bei den englischen Mikroskopen, der ganze optische Apparat an einer horizontalen Axe zwischen zwei Säulen hängt, und aus der verticalen bis zur

horizontalen Stellung übergeführt werden kann. Hat dieses Mikroskop die Objectivsysteme Nr. 0 bis 7, die stärkeren Systeme mit der Correctionseinrichtung, drei Oculare, einen drehbaren Objecttisch, einen vollständigen Beleuchtungsapparat, ein Ocularmikrometer, Goniometer, einen Polarisationsapparat, ein Compressorium, ein Beleuchtungsprisma, eine grosse Linse zur Belenchtung bei auffallendem Lichte, dazu noch Scheeren, Pincetten, Messerchen, Nadeln u. s. w., so kostet es 1300 Francs. Enthält es dagegen nur sechs Objective (Nr. 0, 1, 2, 3, 5 und 7) ohne die Correctionseinrichtung, und sind noch einige Nebendinge weggelassen, die nicht zu allen Untersuchungen erfordert werden, dann beträgt der Preis nur 600 Francs.

Fig. 84.



Grosses Mikroskop von Nachet.

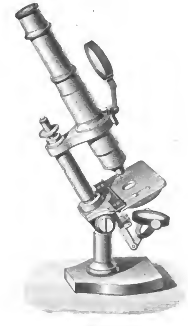
Sehr empfehlenswerth sind die kleineren Mikroskope (Fig. 85), die ebenfalls in verschiedene Richtungen gebracht werden können. Ein solches Mikroskop kostet 190 Francs, wenn es drei Objective (Nr. 1, 3 und 5) und drei Oculare enthält, und natürlich darunter oder darüber, wenn man nur zwei oder aber mehr als drei Objective verlangt.

Noch einfachere, aber sonst ganz zweckmässig eingerichtete Mikroskope liefert Nachet um noch geringeren Preis. Ein Mikroskop z. B. mit zwei Objectiven (Nr. 1 und 3) und zwei Ocularen, das zu den meisten Untersuchungen ganz gut ausreicht, kostet nur 110 Francs. Ein kleines Mikroskop mit Trommelstativ, mit den Objectiven 1 und 3 und Einem Oculare liefert er um den geringen Preis von 70 Francs.

Endlich erwähne ich noch ein Taschenmikroskop, das besonders auf Reisen sehr brauchbar ist, da es in ein vergoldetes Messingkästchen von 9 Centimeter Länge und 5 Centimeter Breite eingepackt werden kann. Das kleine Instrument, in Fig. 86 dargestellt, ist ein niedliches Miniaturmikroskop, womit man gleichwohl die meisten Untersuchungen eben so

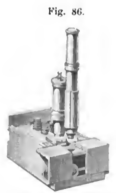


Fig. 85.



Kleines Mikroskop von Nachet.

Fig. 86.



Nachet's Taschenmikroskop.

gut ausführen kann, wie mit einem Instrumente von gewöhnlicher Grösse. Das Rohr hat nur 7 Centimeter Länge, wenn die innere Röhre eingeschoben ist, und 10 Centimeter bei ausgezogener Röhre; sein Durchmesser beträgt nur 14 Millimeter. Wird der Deckel, an dessen Innenfläche die Objective untergebracht werden, abgehoben, dann theilt sich der vordere Theil des Kästchens in zwei Hälften, wodurch zwei Oeffnungen frei werden, eine vordere für das Hohlspiegelchen von nur 14 Millimeter Durchmesser, das aber wegen seiner kurzen Brennweite eine ganz ausreichende Beleuchtung gewährt, und eine obere, wodurch das Licht zum Objecttische geleitet wird. Letzterer ist eigentlich nichts anderes als der vorderste Theil des Kästchens selbst. Zur feinen Einstellung dient eine Mikrometerschraube, die in gleicher Weise hinten am Stative angebracht ist, wie bei Nachet's grösseren Mikroskopen. Es gehört zu diesem Mi-

Digitized by Google

kroskope ein Ocular und die drei Objective Nr. 1, 3 und 5. Ueber dem Objective befindet sich noch eine sehr schwache achromatische Linse, und das oberste Glas des Oculares ist ebenfalls eine achromatische Doppellinse. Diese Modificationen der optischen Einrichtung machten sich wegen der starken Verkürzung des Mikroskoprohres nöthig. Ungeachtet des geringen Durchmessers der beiden Gläser des Oculares fällt doch der Durchmesser des Gesichtsfeldes nicht geringer aus, als man ihn gewöhnlich bei schwachen Ocularen grösserer Mikroskope zu haben pflegt. Für eine Sehweite von 25 Centimeter beträgt er 11 Centimeter. — Dieses Taschenmikroskop verkauft Nachet um 200 Francs.

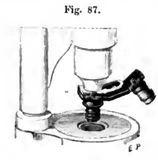
Nachet liefert auch noch mancherlei andere Mikroskope, nämlich bildumkehrende, umgekehrte oder chemische, binoculäre und trioculäre, von denen allen an der geeigneten Stelle die Rede sein wird.

Die mechanische Einrichtung der Nachet'schen Mikroskope verdient alles Lob. Im optischen Vermögen werden sie von keinem der älteren Mikroskope des Continents übertroffen. Sehr viel Sorgfalt ist auf die Anfertigung der Objectivsysteme verwendet, so dass auch die zu den kleineren Mikroskopen gehörigen jenen für die grösseren Instrumente in Nichts nachstehen.

Für die Fälle, wo ganz schief einfallendes Licht erfordert wird, hat Nachet bei seinen grösseren Mikroskopen noch einen besonderen Hülfsobjecttisch, der unter dem eigentlichen Objecttische mit zwei Klammern befestigt wird, um das Objecttäfelchen fest zu halten. Das Mikroskoprohr wird dann durch die Oeffnung des Objecttisches hingeschoben, bis das Objectiv nahe genug über dem Objecte ist.

Besondere Erwähnung verdient noch Nachet's *Revolver-porte-Objectif* (Fig. 87), das unten ans Mikroskop geschraubt werden kann und zwei Objective trägt, die sich um eine schief stehende Axe drehen, so dass eins nach dem anderen unters Mikroskoprohr kommen kann. Es kostet 25 Francs.

Fig. 87.



Revolver-porte-Objectif von Nachet.

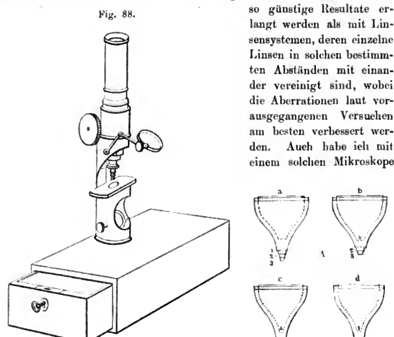
Nach mündlicher Mittheilung verkauft Nachet im Jahre etwa 200 Mikroskope.

Neben diesen drei Hauptwerkstätten von Chevalier, Hartnack und Nachet giebt es in Paris noch einige andere, die nicht solchen Ruf haben, und sich auch in den letzten Jahren nur noch wenig auf Mikroskope, sondern mehr auf andere optische Instrumente verlegt zu haben scheinen. Dahin gehört N. P. Lerebours (*Place du pont neuf*). Ich bin zu wenig mit seinen Instrumenten bekannt, um mir hier ein be-

stimmtes Urtheil darüber zu erlauben. Nach seinem Preiscourant kosten die grösseren Mikroskope, je nachdem sie mehr oder weniger vollständig sind, 160 bis 400 Francs. Seit 1838 lieferte er auch kleine achromatische Mikroskope (Fig. 88), deren Objectiv eine eigenthümliche bei *A* dargestellte Zusammensetzung hat. Es besteht nämlich aus zwei Hohlkegeln, deren einer in den anderen passt. Beide haben am unteren Ende einen Schraubengang, um die Röhrchen mit den achromatischen Doppellinsen aufzuschrauben. Es sind nur drei solche Linsen, damit lassen sich aber vier verschiedene Objective herstellen auf die unter *a*, *b*, *c* und *d* angegebene Weise. Mit zwei Ocularen hat man also acht verschiedene Vergrösserungen, die bei einem von mir untersuchten Mikroskope dieser Art von 41 bis zu 406 gingen.

Ist dieser Versuch einer Vereinfachung auch an sich lobenswerth, so können doch auf dem von Lerebours eingeschlagenen Wege unmöglich so günstige Resultate erlangt werden als mit Linsensystemen, deren einzelne Linsen in solchen bestimmten Abständen mit einander vereinigt sind, wobei die Aberrationen laut vorausgegangenen Versuchen am besten verbessert werden. Auch habe ich mit einem solchen Mikroskope

Fig. 88.



Kleines Mikroskop von Lerebours.

nur die fünfte Gruppe des Nobert'schen Probetäfelchens deutlich sehen können, während mit mehreren der kleinen Mikroskope Oberhäuser's, ungeachtet der schwächeren Vergrösserung, stets die sechste und mit einigen selbst die siebente Gruppe deutlich wurde. Der Preis dieses Lere-

Digitized by Google

bours'schen Mikroskopes beträgt übrigens nur 65 bis 90 Francs, je nachdem ein Ocular oder zwei Oculare und ausserdem eine Beleuchtungslinse für auffallendes Licht beigegeben sind.

Ferner liefert Brunner in Paris (*Rue des Bernardins*, Nr. 34) zusammengesetzte Mikroskope, die in der Einrichtung und im Preise verschieden sind. Seine grösseren Instrumente haben in der mechanischen Einrichtung manches mit den Oberhäuser'schen gemein. Der trommelförmige Fuss und die kurze, weite, darauf ruhende Röhre, welche den Spiegel enthält, haben ziemlich die gleiche Form; statt der röhrenförmigen Diaphragmen Oberhäuser's findet sich aber bei Brunner eine drehbare Scheibe mit sechs Oeffnungen. Der Objecttisch ist auch kreisrund und lässt sich um seine Axe drehen; die Drehung findet aber für sich allein statt, ohne dass das Mikroskoprohr daran Theil nimmt. Diese Einrichtung ist für die Winkelmessung von Krystallen bestimmt. Deshalb ist der Rand des Objecttisches in Grade getheilt, und mit einem seitlich angebrachten Nonius sind auch noch die Minuten ablesbar. Sodann lässt sich der Objecttisch durch zwei Schrauben bewegen, deren eine zugleich als Mikrometer dient. Die gröbere Einstellung wird nicht, wie bei Oberhäuser, durchs Auf- und Niederschieben des Mikroskoprohres mit der Hand ausgeführt, sondern durch einen Trieb, und die feine Einstellung wird durch das Umdrehen einer Schraube bewirkt. Das Mikroskoprohr lässt sich verlängern und verkürzen, wie bei den späteren Oberhäuser'schen Mikroskopen.

Die mechanische Einrichtung eines im Jahre 1845 verfertigten Instrumentes, das ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, verdient alles Lob; alles ist gut und sorgfältig gearbeitet. Es gehören dazu fünf Linsensysteme und drei Huygens'sche Oculare. Dazu kommen noch mehrere Hülfsapparate, unter anderen auch ein gebogenes Ocular mit einem davor befindlichen Prisma, um unter einem Winkel von 45° zu beobachten. Das Ganze kostet nur 600 Francs, ein bei der grossen Zusammensetzung gewiss nur mässiger Preis.

Die Brennweiten sind:

Objectiv Nr.	1	27,30mm
" "	2	12,26
" "	3	2,13
" "	4	1,93
" "	5	1,48

Digitized by Google

Mit dem Nobert'schen Probetäfelchen erhielt ich folgende Resultate:

Linsen-system.	Ocular.	Vergrösserung.	Nobert'sches Probetäfelchen.
Nr. 3	Nr. 1	302	Sechste Gruppe deutlich.
	2	377	Desgleichen.
	3	578	Desgleichen.
Nr. 4	Nr. 1	419	Desgleichen.
	2	524	Siebente Gruppe deutlich.
	3	804	Desgleichen.
Nr. 5	Nr. 1	785	Achte Gruppe deutlich.
	2	980	Desgleichen.
	3	1508	Siebente Gruppe deutlich.

Man ersieht hieraus, dass dieses Mikroskop, ungeachtet der ungemein kurzen Brennweite des stärksten Objectivs, im optischen Vermögen dennoch dem oben (S. 156) beschriebenen Oberhäuser'schen Instrumente nachsteht. Freilich war das letztere einige Jahre später gearbeitet, und es ist recht wohl möglich, dass Brunner inzwischen auch gleiche Fortschritte gemacht hat.

Brunner lieferte auch sehr kleine achromatische Mikroskope, die man bequem soll mit sich tragen können. Dazu gehören zwei Objectivsysteme und eine einzelne achromatische Linse; die Vergrösserungen gehen his 800 Mal im Durchmesser. Die mechanische Einrichtung derselben kenne ich nicht. Das ganze Kästchen mit dem Mikroskope ist aber nur 4 Pariser Zoll lang, 2 Zoll breit und 1 Zoll hoch, uud ausser den nothwendigen Stücken hat man dariu auch noch Glastäfelchen, eine Scheere, ein Messercheu und eine Nadel. (*Edinb. monthly Journ. of med. Sc.* 1846. Dec. p. 418.)

Ueber die übrigen französischen Mikroskope weiss ich nur wenig. Soleil verfertigte Taschenmikroskope für nicht mehr als 35 Francs, die nach Donné (*Comptes rendus* 1841. XII, p. 388) bis zu 300 Mal vergrösserten und, obwohl ohne Spiegel, für alle Untersuchuugen eben so ausreichend sein sollten, wie andere gute Mikroskope. Das dürfte aber wohl eine Uebertreibung sein.

In Italien ist es besonders G. B. Amici, früher in Modena, später 58
Professor und Director des Observatoriums in Florenz, der his zu seinem im Jahre 1862 erfolgten Tode seinen alten wohlverdienten Ruhm würdig behauptet hat. Von der optischen Wirkung eines seiner Instrumente vom Jahre 1835 habe ich schon früher (I, S. 332) ausführliche Nachricht gege-

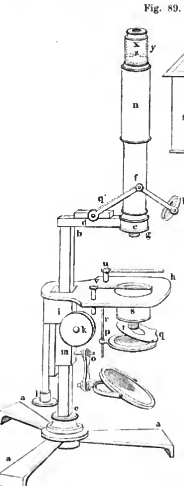
Digitized by Google

ben. Ich will hier nur noch bemerken, dass in diesem Mikroskope, gleichwie in den früheren seit 1827 von Amici gelieferten, über dem Objective ein rechtwinkeliges gläsernes Prisma unbeweglich steht und das Mikroskoprohr deshalb eine horizontale Lage hat, dass ferner der Objecttisch durch zwei Schrauben bewegt wird, deren Knöpfe eine Eintheilung haben, um zugleich als Schraubenmikrometer zu dienen, dass der Objecttisch sich durch einen Trieb an dem Stative auf- und abbewegt, dass endlich durch sehr starke dazu gehörige Oculare die Vergrösserung bis zu 7000 Mal gesteigert werden kann, wenn gleich nach den obigen Mittheilungen die äusserste Grenze des optischen Vermögens bereits bei einer viel schwächeren Vergrösserung erreicht wird. Dieses Mikroskop kostete mit dem Zubehör nicht weniger als 1500 Francs.

Später hat Amici das Gestell seiner Mikroskope nicht blos sehr vereinfacht, sondern auch verbessert, indem er das Prisma nicht mehr als ständigen Bestandtheil in das Rohr aufnahm, und indem er dem Triebe auch noch eine Schraube zur feineren Einstellung zufügte. In der Anfertigung achromatischer Linsensysteme hat er aber solche Fortschritte gemacht, dass eines seiner Instrumente, welches ich 1849 erhielt und zwar zu 500 Francs, unter allen von mir bis dahin untersuchten Mikroskopen in optischer Beziehung sich als das vollkommenste bewährte, während es in der mechanischen Einrichtung allerdings manchen anderen nachstand. In Fig. 89 ist dieses Mikroskop abgebildet. Ein Dreifuss mit drei aus einander zu legenden Stangen *a a a* trägt eine vierseitige Stange *b c*, auf welche oben ein platter vierseitiger Arm *d* geschraubt ist, mit dem Ringe *e* am Ende. In diesen Ring passt ein zweiter, der durch eine Bajonetverbindung damit vereinigt werden kann, sich aber in dem ersten Ringe umdrehen lässt. Der obere weitere Theil dieses zweiten Ringes hat eine Mutterschraube zum Einschrauben des Mikroskoprohres *f*; der engere Theil nach unten aber geht in eine männliche Schraube aus, auf welche die Röhrchen mit den Objectivlinsen passen. Der fast vierseitige Objecttisch *h* hat eine runde Oeffnung und zwei Klemmfedern *u* und *v*, die sich höher und niedriger stellen lassen; er ist mit der Hülse *m* verbunden, die an der Stange durch einen Trieb *k* auf- und niederbewegt werden kann. Zur feinen Einstellung dient eine Schraube mit einem Knopfe *l*, wodurch das mit der vierseitigen Hülse verbundene Stück *i* langsam gehoben und herabgezogen werden kann. Das Mikroskoprohr hat zwei Hälften *f* und *n*, die sich auf einander schrauben lassen, die man aber auch einzeln benutzen kann, wenn man die Höhe des Oculares über dem Tische verkürzen will. Diese Höhe beträgt bei voller Länge des Rohres 37 Centimeter, dagegen nur 29 Centimeter, wenn es auf die Hälfte verkürzt ist. Auf Verlangen wird ein rechtwinkeliges in eine dreiseitige Röhre eingeschlossenes gläsernes Prisma dazu gegeben, welches auf die bei *A* angegebene Weise zwischen die beiden Röhren *f* und *n* einge-

schraubt wird. Der Beleuchtungsapparat besteht aus einem ebenen Spiegel, dessen Bügel an einem Querarme oder an einer Kurbel *o* sitzt, zur excentrischen Beleuchtung; ferner aus einer mit der geraden Fläche aufwärts sehenden planconvexen Linse *p*, die an der runden Stange *r* höher und niedriger gestellt und auch ausserhalb der Axe gebracht werden kann, und auf der eine geschwärzte, in der Mitte mit einer Oeffnung versehene Scheibe *q* liegt, die sich an einem zur Seite befindlichen Stifte herumdreht und als Diaphragma dient. Unter den Objecttisch kann eine Trommel *s* geschraubt werden mit der Röhre *t*, die sich durch Schrauben höher und niedriger stellen lässt; sie wirkt somit als Diaphragma, indem sie das auf das Object treffende Lichtbündel breiter oder schmäler einwirken lässt. Wird eine achromatische Linse auf diese Röhre geschraubt und die eben erwähnte planconvexe Linse zur Seite gedreht, so hat man dann einen achromatischen Beleuchtungsapparat.

Fig. 89.



Mikroskop von Amici.

Man ersieht aus dieser Beschreibung, dass dieses Gestelle so einfach eingerichtet ist, als es die Benutzung starker Objective, die eine feine Einstellung verlangen, nur irgend zulässt. Alles ist weggelassen, was mehr oder weniger als überflüssig erachtet werden kann, und zu den meisten Untersuchungen ist es auch ganz geeignet. Nur wird man in manchen Fällen einen grösseren Objecttisch wünschenswerth finden, so wie eine grössere Festigkeit des ganzen Instrumentes; auch würde das drehbare Diaphragma besser gerade unter dem Objecttische angebracht sein.

Digitized by Google

Es gehören zu diesem Mikroskope nicht weniger denn 21 achromatische Doppellinsen, die zu 13 verschiedenen Combinationen oder Systemen zusammengestellt werden können. Manche davon haben ziemlich gleiche Brennweiten und geben also auch ziemlich die nämliche Vergrösserung; sie sollen aber mit Deckplättchen von verschiedener Dicke (von $^1/_5$ bis $1^1/_2$ Millimeter) gebraucht werden (I, S. 155). Das ist eine gewichtige Verbesserung, deren Nothwendigkeit **Amici** schon seit 1829 begriffen hatte und die er auch zu erreichen strebte. So geben z. B. vier von jenen Combinationen mit dem schwächsten Oculare Vergrösserungen von 664, 672, 644 und 650, was freilich nur geringe Unterschiede sind; aber es soll bei diesen vier Combinationen gar kein Deckgläschen, oder aber ein solches von $^1/_5$, $^1/_4$ und $^1/_3$ Millimeter Dicke benutzt werden.

Die Brennweiten dieser verschiedenen Objectivsysteme wechseln von 36,68 Millim. bis zu 2,57 Millim.*). Zu den meisten gehören drei Doppellinsen, zu einigen, bei denen Deckgläschen benutzt werden, aber auch vier, wo dann die oberste eine Correctivlinse mit ziemlich grosser Brennweite ist, daher sie die eigentliche Vergrösserung nur wenig modificirt.

Es gehören drei Oculare dazu, die auch eine besondere Einrichtung haben. Sie bestehen nämlich aus zwei in einander verschiebbaren Röhren x und y, deren jede eine planconvexe Linse enthält, und die innere Röhre hat ein Diaphragma z. Ist das innere Rohr eingeschoben, dann hat man ein **Ramsden**'sches Ocular; durchs Ausziehen kann man es aber in ein **Huygens**'sches verwandeln. Diese Einrichtung hat den Zweck, auch die letzten Spuren von Aberration möglichst zu beseitigen, worüber früher (I, S. 151) das Nöthige angegeben worden ist. Bei ganzer Rohrlänge ist die Vergrösserung dieser **Ramsden**'schen Oculare eine 6,9fache, 10,7fache und 14,9fache. Das Gesichtsfeld für 25 Centimeter Sehweite hat 217, 210 und 240 Millimeter Breite; dasselbe ist somit merklich grösser, als ich es bei irgend einem der von mir untersuchten Mikroskope (mit Ausnahme des **Kellner**'schen) kennen gelernt habe, dabei aber mit einer sehr starken Krümmung behaftet, da die Vergrösserung in der Mitte des Feldes zu jener am Rande sich bei Nr. 1 = 1 : 1,075, bei Nr. 2 = 1 : 1,136, bei Nr. 3 = 1 : 1,187 verhält. Macht man die

---

*) **Amici** hatte übrigens schon damals stärkere Objectivsysteme verfertigt. **Mohl** (*Mikrographie*, S. 16), dessen Methode zur Bestimmung der Brennweite ich übrigens für nicht so genau erachte als die meinige, weil sie nicht so direct ist, giebt an, das stärkste Objectivsystem seines **Amici**'schen Mikroskopes habe 0,86''', d. h. also 1,9 Millimeter Brennweite. In der Beschreibung dieses Mikroskopes, in den *Annalen der Chemie und Physik* 1844. XII, S. 117 heisst es, das stärkste System habe eine Brennweite von $^1/_2$ Millimeter. Damit ist ohne Zweifel die Entfernung der untersten Linse des Objectivs von dem Objecte gemeint und nicht die Brennweite der äquivalenten Linse.

Entfernung zwischen den beiden Augengläsern grösser, so lässt sich zwar ein ganz gerades Gesichtsfeld herstellen, aber natürlich auf Kosten der Vergrösserung und der Ausbreitung des Gesichtsfeldes.

Es würde etwas ganz Ueberflüssiges sein, wollte ich vollständig über die Resultate der Untersuchung des optischen Vermögens aller Combinationen berichten, und beschränke ich mich auf folgende:

Objectiv-system.	Brenn-weite.	Oeffnungs-winkel.	Ocular.	Vergrösse-rung.	Nobert's Probetäfelchen.
Nr. 1 b.	26,15mm	26°	Nr. 1	96	Zweite Gruppe deutlich.
2	7,45	67°	1	217	Siebente „ „
4	8,69	73°	2	310	Achte „ „
6	4,00	70°	1	423	Desgleichen.
11	2,67	94°*)	1	650	Neunte Gruppe deutlich.

Die neunte Gruppe war bei passender Beleuchtung so deutlich, dass jeder Strich scharf gesondert erschien, ja selbst in der zehnten Gruppe liessen sich noch einzelne Striche unterscheiden **).

Mit den nämlichen Linsensystemen habe ich auch die Grössen der kleinsten dioptrischen Bildchen bestimmt.

*) Schon damals hatte übrigens Amici Linsensysteme mit grösserem Oeffnungswinkel gefertigt. Bei seinem Aufenthalte in England im Jahre 1844 zeigte er dort ein Objectivsystem vor, dessen planconvexe Linse aus borkieselsaurem Blei bestand, das eine Brennweite von 3,6 Millimeter und einen Oeffnungswinkel von 112° hatte (Quekett l. l. p. 430). Wir werden später sehen, dass er weiterhin Linsensysteme mit noch weit grösserem Oeffnungswinkel hergestellt hat.

**) Mohl (*Mikrographie*, S. 127) giebt an, er habe durch sein Amici'sches Mikroskop die neunte Gruppe deutlich, und die zehnte noch gestrichelt gesehen. Später sah er an einem andern ihm von Nobert geschickten Probetäfelchen auch die zehnte Gruppe deutlich (Schuhmacher's *Astronom. Nachr.* 1849. Ergänzungsheft S. 94). Dies beweist aber nur, dass das zweite Probetäfelchen vom ersten verschieden war. Mir selbst ist es später begegnet, dass ich mit dem nämlichen Mikroskope bei sehr schief einfallendem Lichte auf einem Nobert'schen Probetäfelchen mit zwanzig Gruppen die siebenzehnte noch deutlich sehen konnte.

Linsen-system.	Ocular.	Vergrösse-rung.	Kugelförmige Objecte.	Fadenförmige Objecte.	Drähte eines Drahtnetzes.	Maschen dieses Drahtnetzes.
Nr. 1	Nr. 1	96	$0{,}662^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{1510}\,\text{mm}$	$0{,}0771^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{12900}\,\text{mm}$	$0{,}500^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{2000}\,\text{mm}$	$0{,}821^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{1210}\,\text{mm}$
	2	149	$0{,}564^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{1770}\,\text{mm}$	$0{,}0600^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{16600}\,\text{mm}$	$0{,}370^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{2700}\,\text{mm}$	$0{,}607^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{1640}\,\text{mm}$
	3	197	$0{,}533^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{1880}\,\text{mm}$	$0{,}0579^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{17400}\,\text{mm}$	$0{,}394^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{2500}\,\text{mm}$	$0{,}646^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{1550}\,\text{mm}$
Nr. 2	1	217	$0{,}438^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{2290}\,\text{mm}$	$0{,}0486^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{20680}\,\text{mm}$	$0{,}239^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{4190}\,\text{mm}$	$0{,}392^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{2560}\,\text{mm}$
	2	336	$0{,}408^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{2560}\,\text{mm}$	$0{,}0490^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{20400}\,\text{mm}$	$0{,}240^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{4170}\,\text{mm}$	$0{,}394^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{2540}\,\text{mm}$
	3	468	$0{,}395^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{2660}\,\text{mm}$	$0{,}0460^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{21800}\,\text{mm}$	$0{,}240^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{4170}\,\text{mm}$	$0{,}394^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{2530}\,\text{mm}$
Nr. 6	1	423	$0{,}235^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{4260}\,\text{mm}$	$0{,}0299^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{33400}\,\text{mm}$	$0{,}211^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{4740}\,\text{mm}$	$0{,}345^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{2900}\,\text{mm}$
	2	656	$0{,}251^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{3990}\,\text{mm}$	$0{,}0333^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{30000}\,\text{mm}$	$0{,}227^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{4400}\,\text{mm}$	$0{,}372^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{2660}\,\text{mm}$
	3	912	$0{,}254^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{3940}\,\text{mm}$	$0{,}0333^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{30000}\,\text{mm}$	$0{,}225^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{4440}\,\text{mm}$	$0{,}370^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{2700}\,\text{mm}$
Nr. 11	1	650	$0{,}209^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{4790}\,\text{mm}$	$0{,}0242^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{41300}\,\text{mm}$	$0{,}163^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{6140}\,\text{mm}$	$0{,}267^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{3750}\,\text{mm}$
	2	1008	$0{,}215^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{4650}\,\text{mm}$	$0{,}0246^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{40700}\,\text{mm}$	$0{,}167^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{6000}\,\text{mm}$	$0{,}274^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{3650}\,\text{mm}$
	3	1402	$0{,}225^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{4440}\,\text{mm}$	$0{,}0249^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{40200}\,\text{mm}$	$0{,}183^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{5460}\,\text{mm}$	$0{,}302^{\text{mmm}}$ $\frac{1}{3310}\,\text{mm}$

Man ersieht sogleich aus dieser Tabelle, dass das optische Vermögen der beiden stärksten Systeme bereits mit dem ersten Oculare die höchste Stufe erreicht hat, während es bei den schwächeren Systemen durch die Oculare noch erhöht wird.

Belehrend ist die Vergleichung mit anderen, etwa gleichzeitig verfertigten Mikroskopen, z. B. mit dem Oberhäuser'schen (S. 156). Man überzeugt sich aus den beiderlei Tabellen, dass beide Instrumente im Allgemeinen ungefähr gleiches optisches Vermögen besitzen, dass aber mit dem Oberhäuser'schen Mikroskope noch etwas kleinere kugelförmige

und fadenförmige Objecte gesehen werden können, als mit dem Amici'schen, während dagegen das letztere den Vorzug verdient, wenn es darauf ankommt, Objecte von einander zu unterscheiden, die nur wenig von einander entfernt sind.

Um aber die Leistung der beiden Optiker zu beurtheilen, muss eigentlich noch ein ganz anderer Maassstab angelegt werden. Es genügt nämlich nicht, die gleichen Vergrösserungen unter einander zu vergleichen, sondern es müssen auch diese Vergrösserungen, sollen sie zur Vergleichung sich eignen, das Product der nämlichen Factoren sein, d. h. die Brennweiten der Objective und die Vergrösserung der Oculare müssen einander etwa gleich sein.

Oberhäuser's Objectiv Nr. 9 mit 1,7 Millim. Brennweite ist daher nicht zu vergleichen mit dem stärksten Amici'schen Objectivsysteme, welches 2,67 Millim. Brennweite hat; vielmehr steht dem letzteren Oberhäuser's Nr. 8 mit 2,5 Millim. Brennweite am nächsten. Das Gleiche gilt aber auch von den Ocularen: das schwächste Amici'sche entspricht ungefähr dem Oculare Nr. 4 des Oberhäuser'schen Mikroskopes.

Wird bei der Vergleichung der mit beiden Mikroskopen erlangten Resultate hierauf die gebührende Rücksicht genommen, so offenbart sich eine grössere Tüchtigkeit der Amici'schen Linsensysteme, namentlich in Betreff des Unterscheidungsvermögens: hierin verhält sich Nr. 11 von Amici zu Nr. 8 von Oberhäuser etwa wie 3 : 2. Bei schwächeren Vergrösserungen tritt dies vielleicht noch bestimmter hervor, da mit einem Amici'schen Objective von 8,7 Millim. Brennweite die Striche der achten Gruppe des Nobert'schen Probetäfelchens bereits ganz deutlich erkannt werden, wozu schon ein Oberhäuser'sches Objectiv von 2,5 Millim. Brennweite erforderlich ist. Das erwähnte Amici'sche Objectiv besitzt aber auch den für diese Brennweite sehr ansehnlichen Oeffnungswinkel von 73°.

Das stärkere Unterscheidungsvermögen der Amici'schen Objective beruht allein in der auffallend grösseren Oeffnung, die er schon damals seinen Linsensystemen gab. Weiterhin hat aber Amici seine Objectivsysteme noch mehr verbessert, wie aus einem Berichte ersichtlich ist, den er einem für Achille Brachet in Paris bestimmten Mikroskope beigab, welchen der Letztere in einem übrigens ganz sonderbar verfassten Schriftchen (*Simples préliminaires sur le commentaire de la notice du meilleur Microscope dioptrique composé achromatique du professeur Amici.* Paris, 1856) hat abdrucken lassen. Nach diesem Berichte hat:

Nr. 1 . .	22,82mm	Brennweite und		26°	Oeffnungswinkel.
2 . .	8,47mm	"	"	37°	"
3 . .	4,27mm	"	"	70°	"
4 . .	3,92mm	"	"	57°	"
5 . .	3,50mm	"	"	77°	"
6 . .	1,74mm	"	"	160°	"

Man ersieht hieraus, dass es Amici späterhin gelungen ist, seinen stärksten Systemen auch einen viel grösseren Oeffnungswinkel zu verschaffen. Dabei bleibt die unterste Linse des stärksten Objectives doch noch 0,4 Millim. vom Objecte entfernt, eine ungewöhnlich grosse Entfernung für ein System von nur 1,74 Millim. Brennweite und von 160° Oeffnung.

Es sind ferner für dieses Objectiv sechs verschiedene Glassorten verwendet, deren jede ein anderes Brechungs- und Dispersionsvermögen besitzt. Dadurch ist es möglich geworden, die verschiedenen Strahlen des Spectrums in weit vollkommnerer Weise zu vereinigen, als wenn nur zwei Glassorten genommen werden, wo dann stets das sogenannte secundäre Spectrum übrig bleibt. Nach Amici selbst lassen sich dadurch (wohl bei schiefer Beleuchtung) noch Strichelchen unterscheiden, die $^1/_{6000}$ Linie ($^1/_{2664}$ Millim. = zwanzigste Gruppe des Nobert'schen Probetäfelchens) von einander abstehen.

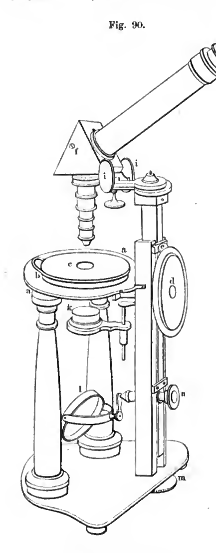
Amici war auch der Erste, der die Immersion der Objective beim zusammengesetzten Mikroskope auf richtige Weise in Anwendung brachte. Zwar hatte Brewster (*New Instruments*, p. 401) bereits viele Jahre früher, selbst noch bevor man achromatische Linsen herzustellen vermochte, zu Objectiven eine einzelne biconvexe Linse mit weit stärkerer Krümmung der oberen Fläche vorgeschlagen, und diese sollten in ein das Licht stark brechendes Oel, wie Anisöl, Sassafrasöl und dergleichen tauchen. Offenbar hätte ein derartiges Verfahren nur für einige wenige Fälle in Betracht kommen können. Amici erkannte den Werth solcher stark brechenden Flüssigkeiten, er verfertigte aber Objective, die in Wasser tauchen sollten, und zwar schon im Jahre 1850, wenn nicht noch früher; wenigstens hat ein Mikroskop, welches mein College Donders im genannten Jahre von Amici erhielt, bereits diese nutzbare Immersionseinrichtung.

Amici's Mikroskop ist noch durch eine Besonderheit ausgezeichnet, die ich nicht mit Stillschweigen übergehen darf. Wie gesagt, steckt das Mikroskoprohr in einem Ringe; es lässt sich um seine Axe und somit auch um die Axe aller Objective und Oculare drehen, und diese Einrichtung hat zuverlässig ihren Nutzen. Bei schwer erkennbaren gestrichelten Probeobjecten, ebenso beim Betrachten der Striche am Nobert'schen Probetäfelchen kann man sich davon überzeugen, dass das Bild bei manchen Stellungen des Rohrs weniger scharf hervortritt, als nachdem man letzteres um einen gewissen Winkel umgedreht hat. Eine Erklärung davon ist aber schwer zu geben. Amici selbst sucht sie in der Aber-

Digitized by Google

ration des Auges, die bei einer bestimmten Stellung des Rohres eine entgegengesetzte Aberration des Mikroskopes aufheben soll. Diese Erklärung kommt mir aber weniger annehmbar vor, als die Mohl'sche (*Mikrographie* S. 177). Mohl denkt nämlich an eine nicht ganz genaue Centrirung der Linsen und sucht den Nutzen der Umdrehung darin, dass dadurch jener Theil des Objectives, worin die Aberration am schwächsten ist, rechtwinkelig zu den zu beobachtenden Strichelchen zu stehen kommt. Wahrscheinlich hat man hierbei an etwas Aehnliches zu denken, wie an die Verbesserung des Astigmatismus des menschlichen Auges durch eine Brille mit sphärisch-cylindrischen Gläsern, welche schon vor vielen Jahren von Airy empfohlen wurden.

Fig. 90.



Mikroskop von Pacini.

Vor mehreren Jahren hat Professor F. Pacini in Pisa ein Mikroskopgestell beschrieben (*Nuovi Annali delle Sc. naturali di Bologna.* Nov. 1845), welches nicht nur zierlich geformt, sondern auch bequem zu gebrauchen ist (Fig. 90). Auf zwei runden Säulen ruht unbeweglich der Objecttisch *a a*. Auf demselben befindet sich die bewegliche runde Platte *c* mit einer Oeffnung in

der Mitte, welche einer grösseren Oeffnung in dem Objecttische selbst entspricht. Um als Goniometer zu dienen, hat diese Platte einen in 360 Grade getheilten Rand, und sie dreht sich auf der Scheibe *b* um ihre Axe; letztere aber kann abwechselnd vor- und rückwärts bewegt werden durch eine Mikrometerschraube, deren breiter Knopf sich in *d* befindet. Dieser Knopf ist in 100 Theile getheilt, und durch einen Nonius *c* liest man die Zehntel ab.

Das Mikroskoprohr ist an die dreiseitige Hülse *f* geschraubt, in der sich ein gleichseitiges dreieckiges Prisma befindet, so dass die Strahlen, wenn sie durch das Objectiv gegangen sind, unter einem Winkel von 30° reflectirt werden. Man kann aber dieses Prisma auch wegnehmen und das Mikroskop vertical stellen. Der Arm, worauf dieser Theil ruht, hat eine Schraube, deren Knöpfe man bei *ii* sieht; dadurch kann das ganze Mikroskoprohr nebst Prisma und Objectiv in querer Richtung bewegt werden, also rechtwinkelig zur Bewegung der Objectplatte *c*, welche durch die Schraube *d* von hinten nach vorn bewegt wird.

Der Arm mit dem optischen Apparate ruht auf einer Stange, welche durchs Umdrehen des Knopfes *n* rasch auf- und niederbewegt wird. Der langsamen Bewegung und feinen Einstellung dagegen dient eine Schraube, deren Knopf bei *m* sichtbar ist.

Der Beleuchtungsapparat besteht aus einem Spiegel *l*, der sich in einem an einer Kurbel befestigten Bügel dreht; ferner aus einer Beleuchtungslinse *k* mit einem darüber sich drehenden Diaphragma.

Dieses Gestell gehört zuverlässig zu den besten der neueren Zeit; es besitzt alle guten Eigenschaften des späteren Modells der Oberhäuser'schen Mikroskope, nämlich Festigkeit, einen grossen Objecttisch, Platz für den Beleuchtungsapparat u. s. w., ohne die plumpe Form, wodurch das letztere entstellt wird. Man sieht aber leicht ein, dass noch mehrere Veränderungen und Vereinfachungen daran anzubringen wären, wodurch dasselbe wohlfeiler werden müsste, ohne dass der Brauchbarkeit Abbruch geschähe.

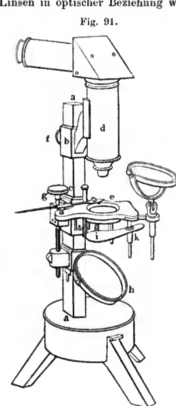
59 Nachdem Frankreich und Italien darin vorausgegangen waren, durch Vereinigung mehrerer achromatischer Doppellinsen aplanatische Mikroskope herzustellen, nahm man dieses Beispiel alsbald in Deutschland auf, und zwar, wie zu erwarten, zuerst im optischen Institute in München, dessen Gründer, der ausgezeichnete Fraunhofer, schon früher, wie wir sahen, achromatische Mikroskope herstellte. Sein Nachfolger, Georg Merz, brachte 1829 ein Mikroskop zu Stande (Döllinger, *Nachricht von einem verbesserten aplanatischen Mikroskope*. München 1829), welches ohne Zweifel viel besser war als die früheren Münchener Instrumente, und bei dem auch die verschiedenen Linsen zu einem zusammengesetzten Objective vereinigt werden konnten. Hierzu benutzte

Digitized by Google

er zuvörderst die vier achromatischen Linsen, die bis dahin zum Fraunhofer'schen Mikroskope gehörten, und deren stärkste eine Brennweite von 16 Millim. hatte; nur fügte er noch eine fünfte mit 12 Millim. Brennweite hinzu. Es scheinen aber noch lauter biconvexe Linsen gewesen zu sein, und sie standen somit gegen die in Paris und Modena verfertigten zurück. Ihre Helligkeit und Schärfe wurden übrigens damals von competenten Beurtheilern, wie Brown (*Philos. Transact.* 1830, p. 118) und in Schuhmacher's *Astron. Nachrichten*, IX, S. 110 sehr gerühmt. Es gehörten vier Oculare zu diesem Mikroskope. Seine Vergrösserung ging von 12 bis 1000.

Während aber dieses Mikroskop (Fig. 91) wegen der biconvexen Linsen in optischer Beziehung wahrscheinlich jenen nachstand, die aus den Werkstätten von Chevalier und Amici kamen, fand sich an demselben eine andere wesentliche Verbesserung, die späterhin bei vielen Mikroskopen beibehalten wurde. Merz erkannte nämlich, dass durch das reflectirende gläserne Prisma, welches Amici in sein horizontales Mikroskop brachte, immer etwas Licht verloren geht, und deshalb gab er seinem Mikroskoprohre die Einrichtung, dass das Prisma zwar eingeschoben war, aber nach Willkür auch wieder weggenommen werden konnte, wo dann das ganze Rohr vertical stand. So wurden die Vortheile des Prisma gewahrt, seine Nachtheile aber beseitigt. Uebrigens war die mechanische Einrichtung dieses Mikroskopes eben so einfach als zweckmässig. Eine vierseitige Stange *aa* ruht auf einem festen Dreifusse. Diese Stange ist aus Stahl, alles Uebrige dagegen aus Messing. Zwei vierseitige Hülsen *b* und *c* schieben sich an dieser Stange auf und nieder: *b* trägt das Mikroskoprohr *d*, *c* hingegen den Objecttisch *e*, und so können diese beiden in die gehörige Entfernung von einander gebracht werden. Die obere Hülse wird durch die Klemmschraube *f* festgestellt. Zur genauen Einstellung dient die feine Schraube *g*,

Fig. 91.



Aelteres Mikroskop von Merz (1829)

wodurch der Objecttisch langsam auf- und abwärts bewegt wird. Zum Beleuchtungsapparate gehört ein Spiegel *h* mit concaver und gerader Fläche, sowie ein Diaphragma *i*, das sich um den Stift *k* dreht und an diesem sich höher und niedriger stellen lässt.

In den folgenden Jahren scheint das optische Institut nur wenige Mikroskope geliefert zu haben; wenigstens geschieht ihrer Benutzung nur selten Erwähnung. Dies mag wohl dem Umstande zuzuschreiben sein, dass viele und grosse Teleskope daselbst verfertigt wurden, wodurch das Mikroskop mehr in den Hintergrund kam. Im Jahre 1843 bestellte aber der Herzog von Leuchtenberg bei den damaligen Inhabern des Instituts, Merz und Mahler, ein möglichst vollkommenes Mikroskop, welches von Merz und dessen Sohne Sigismund gefertigt und von einem anderen Sohne Ludwig Merz (*Die neueren Verbesserungen am Mikroskope* u. s. w. München 1844) beschrieben wurde. Aus dieser Beschreibung, die indessen durch keine Abbildung erläutert wird, ersieht man, dass die mechanische Einrichtung des früheren Mikroskopes grossentheils beibehalten wurde. Nur in den Bewegungen sind ein Paar Verbesserungen vorgenommen worden: der Objecttisch kann durch einen Trieb höher und niedriger gestellt werden, und zur feinen Einstellung dient Mahler's Kugelschraube, womit das Mikroskoprohr in der Hülse in die Stange greift.

Der optische Theil besteht aus sechs achromatischen Linsen, die unter einander zu fünf Systemen verbunden werden können. In dem Rohre befindet sich eine achromatische concave Linse, wodurch die Vergrösserung verstärkt wird. Es gehören dann noch fünf verschiedene Oculare dazu, so dass die Vergrösserung von 12 bis zu 2400 steigt.

Darf ich nach einem der kleineren Instrumente, das etwa um die nämliche Zeit aus dem optischen Institute von Merz und Sohn gekommen ist, urtheilen, so war man daselbst in der Kunst, gute Mikroskopobjective herzustellen, damals noch keineswegs so weit wie in anderen Werkstätten. Seit einigen Jahren ist aber Merz hierin ebenfalls sehr vorgeschritten, und seine Objective zählen jetzt zu den besten aus Deutschland.

Schon im Jahre 1860 habe ich die beiden Systeme Nr. 6 und 7 mit Correctionseinrichtung etwas genauer untersuchen können und dabei gefunden:

	Oeffnungswinkel	Nutzbarer Theil des Oeffnungswinkels.	Brennweite.
Nr. 6. Grösste Annäherung der vordersten Linse	90°	81°	3,45mm
„ „ Grösster Abstand der vordersten Linse	68	68	3,84 „
Nr. 7. Grösste Annäherung der vordersten Linse	101	90	2,48 „
„ Grösster Abstand der vordersten Linse	66	62	2,61 „

Sonach zeichneten sich diese Systeme vortheilhaft dadurch aus, dass der wirklich nutzbare Theil des Oeffnungswinkels dem vollständigen Oeffnungswinkel nur wenig nachsteht. Mit der stärkeren Nr. 7 war bei centrischer Beleuchtung mit parallelen Strahlen die 9. Gruppe eines Nobert'schen Probetäfelchens deutlich, und bei centrischer Beleuchtung mit divergirenden Strahlen, als nämlich ein Linsensystem von etwa 8 Millim. Brennweite in die Bahn der Strahlen kam, wurde die 11. Gruppe gelöst.

Bei den neueren Mikroskopen befolgt Merz das Verfahren der englischen Optiker, dass er die Objective nach den Brennweiten der äquivalenten Linsen bestimmt. Während aber eine Prüfung der englischen Objective in der Regel lehrt, dass die nominale Brennweite etwas grösser ist als die wahre, verhält es sich gerade umgekehrt bei den Objectiven von Merz, und das darf man bei ihrer Prüfung und Vergleichung mit anderen Objectiven nicht ausser Acht lassen. Bei einem Mikroskope vom Jahre 1865 mit 7 Objectiven, von denen die beiden stärksten mit Correctionseinrichtung versehen sind, erhielt ich folgende Resultate:

Digitized by Google

	Nominale Brennweite.		Wirkliche Brennweite.	Nobert'sches Probetäfelchen mit 30 Gruppen bei centrischer Beleuchtung.
Nr. 1	1″		53,6mm	
„ 2	1/3		16,7 „	4. Gruppe deutlich
„ 3	1/6		9,2 „	6. „ „
„ 4	1/9		5,9 „	10. „ „
„ 5	1/12		3,5 „	10. „ „
„ 6	1/15	bei stärkster Linsennäherung	2,4 „	11. „ „
		bei grösstem Linsenabstande	3,5 „	
„ 7	1/18	bei stärkster Linsennäherung	1,8 „	13. „ „
		bei grösstem Linsenabstande	2,9 „	

Nr. 7 ist ein Immersionssystem. Die Vergrösserungen der fünf zugehörigen Oculare verhalten sich wie 1, 1,5, 1,7, 2,2 und 3,8 zu einander.

Merz hat noch zwei stärkere Systeme von 1/21″ und 1/24″ nominaler Brennweite, die ich nicht kenne; aber wahrscheinlich ist auch bei diesen die wirkliche Brennweite eine grössere. Max Schultze (*Arch. f. mikrosk. Anat.* I, S. 306) unterschied mit dem letztgenannten Systeme bei centrischer Beleuchtung die 9. Gruppe eines neuen Nobert'schen Täfelchens mit 19 Gruppen. Ich stelle aber die einander entsprechenden Gruppen der Täfelchen mit 19 und mit 30 Gruppen neben einander, nebst den durch Max Schultze mit jenen Objectiven erlangten Prüfungsresultaten:

	Täfelchen mit 19 Gruppen.	Täfelchen mit 30 Gruppen.
System 1/12″	7. Gruppe deutlich	= 11. Gruppe
„ 1/15″, Immersionssystem	8. „ „	= 13. „
„ 1/15″, ohne Immersion	8. „ „	= 13. „
„ 1/24″, Immersionssystem	9. „ „	= 15. „

Den Mikroskopen von **Merz** wird auch durch **Frey** (*Arch. f. mikroskop. Anat.*, I, S. 446) grosses Lob gezollt.

Nach dem letzten Preiscourante hat **Merz** für seine Objective folgende Preise:

Brennweite der äquivalenten Linse.	Oeffnungswinkel.	Preis.
1", 1/2" und 1/3"	20° — 60°	14 Gulden = 8 Thlr.
1/6"	100°	21 „ = 12 „
1/9", 1/12"	120°	28 „ = 16 „
1/15", 1/18"	140° — 150°	42 „ = 24 „
Dieselben zur Immersion		56 „ = 32 „
1/21", 1/24"	160° — 170°	70 „ = 40 „
Dieselben zur Immersion		98 „ = 56 „

Correctionsfassungen erhöhen die Preise um je 14 Gulden oder 8 Thaler.

Die Oculare kosten 5 1/4 Gulden oder 3 Thlr.

Ein Schraubenmikrometer, womit bis 0,0001 Par. Zoll gemessen wird, kostet 56 Gulden oder 32 Thlr.

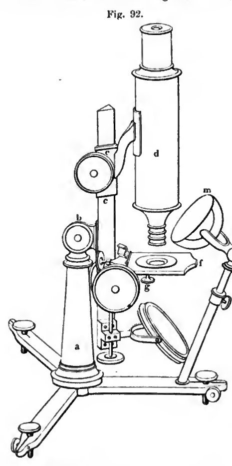
Merz hat dreierlei Stative. Der Preis wechselt je nach der Anzahl der Objective und Oculare von 20 bis 240 Thlr. Zum grössten Mikroskope mit drehbarem Objecttische gehört ein Schraubenmikrometer. Zum gewöhnlichen Gebrauche eignet sich das Stativ Nr. 2 am besten. Mit 2 Objectiven und 3 Ocularen, welche 60 Mal bis 600 Mal vergrössern, kostet dieses Mikroskop 40 Thlr. Mit dem stärksten Objective und dem stärksten Oculare steigt die Vergrösserung bis 1800 Mal.

Der zweite, der sich in Deutschland, und zwar mit dem glücklichsten Erfolge, auf die Verfertigung achromatischer Mikroskope legte, war **Simon Plössl** in Wien (*Alte Wieden, Feldgasse, am Eck der Schmölerlgasse* Nr. 215), dessen Instrumente seit 1830 eine allgemeine Verbreitung gefunden haben. Das Gestell von einem seiner älteren Mikroskope ist Fig. 92 (a. f. S.) dargestellt. Auf einem Dreifusse, der durch Stellschrauben in horizontaler Stellung erhalten wird, ruht die Säule *a*, mit welcher oben durch das Charnier *b* die dreiseitige stählerne Stange *c* verbunden ist. Das Mikroskop kann daher vertical gestellt oder auch unter einem bestimmten Winkel geneigt werden. Das Mikroskoprohr *d* ist an der dreiseitigen Hülse *e* aufgehängt, die sich durch einen Trieb an der Stange *c* auf- und niederbewegt. Der Objecttisch *f* kann durch die feine Schraube *g* höher oder niedriger gestellt werden, und zwei diagonal stehende Schrau-

Digitized by Google

ben an demselben bewegen die Objecte im Gesichtsfelde. Auf denselben passt auch ein Schraubenmikrometer mit einem Nonius, der noch $^1/_{100000}$ Wiener Zoll angiebt. Der Beleuchtungsapparat für durchfallendes Licht besteht aus einem Hohlspiegel, der auf der Hinterseite geschwärzt ist, mit einer Linse zur Verstärkung des Lichts, und aus einem Selligue'schen convexen Prisma *m* für auffallendes Licht.

Fig. 92.



Aelteres Mikroskop von Plössl (1840).

An den späteren Mikroskopen (Fig. 93) hat Plössl die Säule mit dem Charniere weggelassen, die dreiseitige Stange ruht unmittelbar auf dem Fussgestelle, und der Spiegel ist an einem der drei Füsse angebracht.

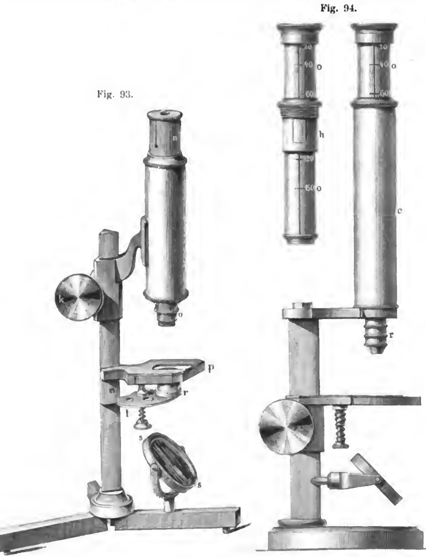
In neuester Zeit hat Plössl den Dreifuss durch ein schweres kreisrundes Fussstück ersetzt, worauf die dreiseitige stählerne Stange des Mikroskoprohres ruht und durch einen horizontalen Arm um seine Axe gedreht werden kann. An kleineren Mikroskopen fehlt diese Drehbewegung, und die Stange steht fest auf dem Fussstücke.

Die Fig. 94 giebt noch eine Ansicht von Plössl's pankratischem Dissectionsmikroskope. Zur Linken ist das Ocularrohr *oo* für sich abgebildet, in Verbindung mit der Hülse *h*, worin es sich verschieben lässt, und die auf das Rohr *c* aufgeschraubt wird, an dessen unterem Ende das Objectiv befindlich ist. Die auf dem Ocularrohre stehenden Zahlen bezeichnen die Vergrösserung, welche eintritt, wenn man dasselbe bis zu dieser Stelle auszieht.

Die Plössl'schen Mikroskope haben sich immer durch eine sorgsame

Digitized by Google

und genaue Arbeit ausgezeichnet. Die ganze Einrichtung des Gestelles indessen ist namentlich wegen der ansehnlichen Höhe nicht so zweckmässig, wie bei



Plössl's neueres Mikroskop.

Plössl's pankratisches Dissectionsmikroskop.

manchen anderen, da man nur stehend damit arbeiten kann. Ich muss jedoch bemerken, dass Plössl das Mikroskoprohr auch aus zwei Hälften

Digitized by Google

bildet, um nach Willkür ein Glasprisma dazwischen einzusetzen, ganz so, wie es Merz und späterhin auch Amici und Andere gethan haben, und dann kann man damit auch im Sitzen arbeiten.

Zu diesem Mikroskope gehörten früherhin nur sieben achromatische Doppellinsen, deren Röhrchen sich an einander schrauben lassen, so dass man vier bis fünf verschiedene Systeme bekommt. Nach Mohl (*Mikrographie*, S. 16) hatten die drei stärksten Linsen seines Plössl'schen Mikroskopes zusammen 3,15 Millimeter Brennweite. Seit 1848 ist aber Plössl hierin weiter gegangen. Zu seinen früheren sieben Doppellinsen kam noch ein System mit dem Zeichen *a*, *b*, *c*, dessen Vergrösserung sich nach Perty (*Die Bewegung durch schwingende mikroskopische Organe*. Bern 1848. S. 23) zu jener der früheren stärksten Combination wie 38 : 28 verhält; seine Brennweite wird daher wahrscheinlich etwa 2 Millimeter betragen*).

Plössl hat sechs Oculare. Eins derselben besteht aus zwei achromatischen Linsen; sein Gesichtsfeld ist kleiner als bei den anderen, und es giebt auch nur eine schwächere Vergrösserung. Diesen Umständen eher als seiner besonderen Einrichtung ist die grössere Schärfe des Bildes zuzuschreiben, da nach der früheren Auseinandersetzung (I, §. 157) gerade in der Aberration des Oculares sich ein Mittel bietet, um die entgegengesetzte Aberration des Objectives zu beseitigen.

Die Plössl'schen Mikroskope, die ich gesehen habe, sind übrigens durch grosse Helligkeit und Schärfe ausgezeichnet, und im optischen Vermögen werden sie gewiss nur von wenigen übertroffen. Nach Pohl (*Sitzungsbericht d. Kais. Acad. zu Wien.* 1853. XI, S. 504) ist bei schiefer Beleuchtung mit dem Objectivsysteme *abc* und mit dem aplanatischen Oculare bei 292maliger Vergrösserung und bei 8 Pariser Zoll Sehweite die 15. Gruppe des Nobert'schen Probetäfelchens noch ganz deutlich, was für ein grosses Unterscheidungsvermögen spricht, mit dem sich muthmaasslich ein grosser Oeffnungswinkel vergesellschaftet. Nach Pohl soll Plössl's Mikroskop hierin das Nachet'sche übertreffen, welches er damit verglich; indessen hat letzteres dafür das Uebergewicht im begrenzenden Vermögen.

Nach einer späteren Mittheilung konnte übrigens Pohl (*Sitzungsberichte.* 1860. XL, p. 63) mit dem stärksten Objective Plössl's und bei centrischer Beleuchtung mit dem Spiegel die Striche auf der Schale von *Pleurosigma angulatum* nicht erkennen, was doch mit den ungefähr gleich starken Objectiven Hartnack's und Nachet's nicht schwer fällt.

---

*) Nach Radicke (*Optik* II, S. 353) hat Plössl auch achromatische Doppellinsen aus Bergkrystall und Flintglas verfertigt. Das geringere Dispersionsvermögen des Bergkrystalls im Vergleiche zum Kronglase kann aber kaum die Mühe aufwiegen, die es haben muss, der doppelten Strahlenbrechung, die dem Bergkrystalle zukommt, zu entgehen.

Digitized by Google

Diese letzteren sind allerdings Immersionssysteme, und ob Plössl bereits dergleichen liefert, ist mir unbekannt.

Jetzt gehören zu Plössl's grossen Mikroskopen neun achromatische Doppellinsen nebst einem besonderen Linsensysteme. Ohne aplanatisches Ocular, ohne Schraubenmikrometer u. dgl. kostet es 292 Gulden C.-M. Das Schraubenmikrometer kostet 80 Gulden, 'das aplanatische Ocular 10 Gulden, der bewegliche Objecttisch 12 Gulden, das Prisma zur horizontalen Stellung des Rohrs 15 Gulden.

Plössl liefert auch einfachere zusammengesetzte Mikroskope, zu denen weniger Objectivsysteme kommen und die daher auch weniger kosten. Ein solches, dessen mechanische Einrichtung in der Hauptsache wie beim grösseren Mikroskope ist, mit fünf achromatischen Linsen, kostet 90 Gulden C,-M., und ein Taschen- oder Reisemikroskop mit gleichviel Linsen, bei dem aber das Kästchen als Fussstück dient, 80 Gulden. Bei diesen beiden reicht zwar die Vergrösserung nicht so weit, da ihnen die stärkste Linse fehlt; dessen ungeachtet sind sie für die meisten wissenschaftlichen Forschungen ganz ausreichend. Beschränkter noch in der Anwendung ist ein anderes zusammengesetztes Mikroskop, welches mit 45 Gulden auf dem Preiscourante steht und wozu nur drei Objectivlinsen gehören.

Alsbald nach Plössl fingen auch Pistor und F. W. Schiek in Berlin an, achromatische Mikroskope zu liefern, und weiterhin hatte jeder der Beiden seine eigene Werkstatt. Im Jahre 1832 verglich Ehrenberg (Poggendorff's *Annal.* 1832. Bd. 24, S. 189) die Mikroskope von Chevalier, von Plössl und von Schiek unter einander und gab denen des Letzteren den Vorzug vor den beiden Anderen. Nach Wagner hingegen (*Handwörterbuch d. Phys.* Art. Mikroskop, S. 443) standen die Schiek'schen Mikroskope anfänglich den Plössl'schen nach. Später sind sie nach dem Zeugnisse von Wagner sowohl als von Schleiden (*Notizen a. d. Geb. der Natur- u. Heilkunde.* 1847. IV, Nr. 1) im optischen Vermögen einander ungefähr gleichgekommen, und Beide rühmen auch sehr die saubere und genaue Arbeit am Schiek'schen Gestelle.

Die grossen Mikroskope von Schiek (*Marienstrasse*, Nr. 1) stimmen in der mechanischen Einrichtung so ganz mit den Plössl'schen überein, dass eine besondere Beschreibung überflüssig erscheint. Sie unterscheiden sich nur in der Weise, wie die Diaphragmen unter der Oeffnung des Objecttisches angebracht sind, und darin stimmen sie ganz mit dem alten Modell der grossen Oberhäuser'schen Mikroskope.

Dagegen weicht Schiek im optischen Theile von Plössl ab, da er die Linsen zu festen Systemen verbindet, wie es bei den jetzigen französischen und englischen Mikroskopen, bei den späteren Amici'schen

und auch bei den meisten neueren deutschen Mikroskopen gebräuchlich ist. Es gehören drei solche Systeme zu seinem Mikroskope, und jedes derselben besteht aus drei achromatischen Doppellinsen. Oculare sind es fünf, darunter ein aplanatisches. Die Vergrösserung geht von 15 bis zu 1000. Mit allem Zubehör, wohin auch ein Schraubenmikrometer, ein Compressorium u. s. w. zu zählen sind, kostet dieses Mikroskop 200 Thaler.

Ein etwas kleineres zusammengesetztes Mikroskop, dessen Gestell so ziemlich wie bei den grösseren ist, mit sechs Doppellinsen und vier Ocularen, welches 15 bis 800 Mal vergrössert, kostet 110 Thaler, und wenn noch ein Schraubenmikrometer hinzukommt, 140 Thaler.

Ein noch einfacheres und kleineres zusammengesetztes Mikroskop, zu dem aber die gleichen Linsen wie beim vorhergehenden kommen, und das auch ziemlich die gleiche Vergrösserung erreicht, kostet 80 Thaler.

Schiek hat ferner Mikroskope gefertigt nach dem Oberhäuser'schen Modelle. Das grössere mit trommelförmigem Fusse und beweglichem Objecttische, der zugleich als Schraubenmikrometer dienen kann (und darin zeigt sich eine Verschiedenheit von den Oberhäuser'schen Instrumenten), mit neun Objectivlinsen oder drei Systemen und mit vier Ocularen, von 18 Mal bis zu 800 Mal vergrössernd, kostet 130 Thaler.

Die kleinsten, wozu vier Objectivlinsen und zwei Oculare gehören, und die 40 bis 500 Mal vergrössern, kosten 40 Thaler.

Wer mehr Objectivsysteme will, kann diese auch einzeln bekommen. Ein Satz von drei Doppellinsen mit schwacher Vergrösserung kostet 12 Thaler, ein solcher mit starker Vergrösserung 18 Thaler.

Weniger verbreitet als die Instrumente von Plössl und von Schiek sind die Mikroskope von Pistor und Martins in Berlin, früher Pistor und Hirschmann (*Marienstrasse*, Nr. 34). Nach der Beschreibung im Preiscourant zu urtheilen, stimmen sie in der optischen Zusammensetzung ziemlich mit den Schiek'schen Mikroskopen überein. Ob sie ihnen auch im optischen Vermögen gleichstehen, das ist mir unbekannt.

Für die grösseren Mikroskope haben sie zweierlei Gestelle. Das eine unterscheidet sich nicht wesentlich von jenem der Plössl'schen und Schiek'schen Instrumente. Das andere gleicht mehr dem Oberhäuser'schen, unterscheidet sich jedoch von demselben durch drei Stellschrauben, womit der Objecttisch horizontal gestellt wird, und durch einen beweglichen Schlitten, der zugleich als Schraubenmikrometer dient; die gröbere Einstellung wird durch einen Trieb bewirkt, die feinere durch eine Mikrometerschraube. Eine ungewöhnliche Beigabe dieses Mikroskopes ist ein Klemmring, der über dem Mikroskoprohre verschiebbar ist und einerseits verhindert, dass die Objectivlinse an das Object stösst, andererseits aber auch dazu dienen kann, die Stellung des Rohres für eine gefundene Brennweite schnell wieder ausfindig zu machen. Fer-

Digitized by Google

ner gehört ein Ocularschraubenmikrometer dazu. Mit neun Objectivlinsen, die zu drei Systemen vereinigt sind, und mit fünf Ocularen, von denen das eine aplanatisch ist, kann man die Objecte 25 bis 1200 Mal vergrössert sehen. Mit mancherlei Zubehör kostet dieses Mikroskop 250 Thaler.

Der nämliche Instrument mit sechs Objectivlinsen, mit vier Ocularen, 25 bis 1000 Mal vergrössernd, aber ohne Ocularschraubenmikrometer, ohne aplanatisches Ocular und ohne andere Hülfsmittel kostet 150 Thaler.

Das nämliche ohne Objectschraubenmikrometer kostet 115 Thaler.

Wird die gröbere Einstellung nicht durch einen Trieb bewirkt, sondern durch Schieben mit der Hand, so kostet das Instrument 110 Thaler.

Der Preisconrant von Pistor und Martins nennt noch andere Mikroskope, die hier aufzuzählen überflüssig erscheint. Nur sei noch bemerkt, dass sie auch Mikroskope ganz nach Oberhäuser'schem Muster machen, die grösseren für 60 bis 75 Thaler, die kleineren für 35 bis 50 Thaler. Zu den letzteren gehören fünf Objectivlinsen und zwei Oculare, und sie vergrössern 25 bis 400 Mal. Auch bei ihnen bekommt man einzelne Objectivsysteme wie bei Schiek.

Die bisher genannten Mikroskopverfertiger in Deutschland stammen noch aus einer Zeit, wo man erst anfing, achromatische Linsensysteme anzufertigen. Unter den späteren hat sich F. A. Nobert, früher in Greifswalde, jetzt zu Barth in Pommern wohnhaft, vortheilhaft bekannt gemacht, namentlich durch die im Jahre 1846 in Poggendorff's *Annalen*. LXVII, S. 173 erschienene Abhandlung über die Prüfung des optischen Vermögens der Mikroskope mittelst seiner schon wiederholt genannten und später ausführlicher zu beschreibenden Probetäfelchen.

Ende 1852 hatte ich Gelegenheit, ein grosses Mikroskop von Nobert zu untersuchen. Das ganze Gestell ist offenbar von Schiek und von Plössl genommen. Um 40 bis 45 Centimeter überragt es die Fläche, auf der es steht, und bei dieser Höhe kann man nur im Stehen damit arbeiten. Die stählerne Stange, an welcher der Mikroskopkörper durch einen Trieb auf- und abgleitet, ist nicht dreikantig, sondern halbcylindrisch. Die feine Einstellung wird auf eine ganz einfache Weise bewirkt, die zwar nicht für grössere und kostbare Instrumente passt, aber wegen der Wohlfeilheit sich recht gut für kleinere Instrumente eignet. Der vierseitige Objecttisch nämlich ist mit der Stange durch eine Art Charnier verbunden und hat hinten ein rechtwinkelig umgebogenes Ansatzstück, das an der Stange anliegt. Wird dieses Ansatzstück nach vorn bewegt, dann hebt sich natürlich der Objecttisch, der sich um die Axe im Charnier dreht. Zu dem Ende geht durch die Stange von hinten nach vorn eine Schraube, die hinten einen gekerbten Knopf hat und deren vorderes Ende gegen das Untertheil des senkrecht herabhängenden

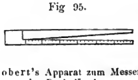
Ansatzstückes des Objecttisches stösst. Rückt die Schraube vor, so muss sich jener Theil des Objecttisches heben, worauf das Object ruht, und beim Rückwärtsbewegen der Schraube sinkt er wieder durch seine eigene Schwere, bis er an die Stange stösst.

Dieser einfache Mechanismus ist in vielen Fällen ganz ausreichend zur feinen Einstellung, wenn durch den Trieb das Mikroskop schon ziemlich in die gehörige Entfernung vom Objecte gebracht worden ist. Letzteres wird dabei schwach geneigt, und zwar ohne Nachtheil, wenn schwächere Objective genommen werden. Bei stärkeren Objectivsystemen freilich, deren Unterfläche dem Objecte ganz nahe kommt, müssen andere Mittel zur feinen Einstellung gewählt werden, bei deren Anwendung die Ebene des Objecttisches immer senkrecht zur Axe des Mikroskopkörpers steht.

Der Beleuchtungsapparat dieses Mikroskopes besteht aus einem grossen Convexspiegel, der sich nur um seine Axe dreht und nicht excentrisch gestellt werden kann; deshalb ist keine schiefe Beleuchtung möglich. Unter dem Objecttische befindet sich ein verschiebbares Diaphragma mit drei Oeffnungen von verschiedener Grösse. Am Objecttische ist ein Schraubenmikrometer befestigt mit einem Nonius, der $^1/_{10000}$ Par. Linie angiebt.

Zu diesem Mikroskop gehören drei schwächere Objectivlinsen, die als 1, als 1 + 2 und als 1 + 2 + 3 benutzt werden. Dazu kommen noch zwei stärkere Objectivsysteme, Nr. 4 und 5. Diese beiden letzteren haben eine Correctionseinrichtung für verschieden dicke Deckplättchen, ganz wie bei Smith und Beck. Die Dicke der Deckplättchen wird durch den kleinen in Fig. 95 dargestellten Apparat gemessen. Zwei Messingstreifen sind am hinteren Ende mit einander verbunden; der obere ist keilförmig, so dass ein ebenso gestalteter Zwischenraum zwischen beiden entsteht, und in diesen bringt man das zu messende Deckplättchen, dessen Dicke durch die auf dem unteren Streifen eingeschnittene Scala angegeben wird.

Fig 95.



Nobert's Apparat zum Messen der Deckplättchen.

Das Mikroskop hat ferner vier Oculare, so dass 20 verschiedene Vergrösserungen von 22 Mal bis 1680 Mal herauskommen.

Einer genaueren Untersuchung habe ich nur das stärkste Objectivsystem unterzogen, welches nach meinen Messungen 1,93 Millimeter Brennweite hatte. In einem dem Mikroskope beiliegenden Berichte giebt Nobert an, auf dem beigegebenen Probetäfelchen mit 20 Liniengruppen könne man mit dem schwächsten Oculare bei 480maliger Vergrösserung die 15. Gruppe deutlich unterscheiden, mit den stärkeren Ocularen aber die 19., ja manchmal selbst die 20. Gruppe, wo die Strichelchen nur

Digitized by Google

$^1/_{6000}$ Linie von einander entfernt sind. Durch ein Mikroskop, womit blos eine centrische Beleuchtung möglich ist, habe ich jedoch nicht mehr als die 12. Gruppe deutlich zu sehen vermocht. Ich nahm freilich auch noch in der 20. Gruppe Strichelchen wahr, aber nur die gröberen. Als das nämliche System an ein Mikroskop kam, dessen Beleuchtungsapparat schief auffallende Strahlen zulässt, konnte ich höchstens noch die 14. Gruppe deutlich erkennen, während mit einem Amici'schen Objectivsysteme von merklich grösserer Brennweite (2,57 Millimeter) bei dem nämlichen Lichteinfalle die 17. Gruppe noch deutlich erkannt wurde.

Es versteht sich von selbst, dass bei dieser Untersuchung die Verbesserungseinrichtung für die Dicke der Deckplättchen in Anwendung gezogen wurde. Doch will ich noch bemerken, dass die Beobachtungen bei Tageslicht angestellt wurden; bei künstlichem Lichte würden vielleicht günstigere Resultate erzielt worden sein.

Dieses Nobert'sche Mikroskop darf hiernach als ein gutes und brauchbares Instrument bezeichnet werden; doch offen gestanden entsprach es nicht ganz meinen Erwartungen, die vielleicht zu hoch gespannt waren, und zwar eben sowohl durch die Ankündigungen des Verfertigers als durch die Lobeserhebungen, welche von anderen Seiten seinen Objectivsystemen zu Theil wurden, indem man z. B. in Schumacher's *Astron. Nachrichten.* 1849. Ergänzungsheft, S. 93 liest, Schleiden habe einzelnen Nobert'schen Systemen vor den Amici'schen den Vorzug gegeben. — Es steht aber zu erwarten, dass Nobert seitdem auch fortgeschritten ist. Wünschenswerth wäre es übrigens, wenn er ein anderes Gestell zu seinen Instrumenten wählte, um sitzend damit arbeiten zu können.

Das Nobert'sche grosse Mikroskop mit Zubehör kostet 130 Thaler. Ohne Schraubenmikrometer und mit sieben bis acht Objectivlinsen kostet es 100 Thaler. Ferner kostet ein kleines achromatisches Mikroskop mit eigenthümlicher (nicht beschriebener) Einrichtung in einer Messingkapsel von 2 Zoll Dicke und 7 Zoll Länge, also bequem in der Tasche tragbar, mit vier Objectiven und einem Ocular, welches 30, 60, 120 und 250 Mal vergrössert, 28 Thaler.

Seit 1849 erwarb sich Carl Kellner in Wetzlar als Mikroskopverfertiger einen Namen. Ich habe drei seiner kleineren Mikroskope zu sehen bekommen, die in optischer Beziehung Vorzügliches leisten; nur haben sie zu wenig Wechsel in der Vergrösserung, weil nur ein Objectiv und zwei Oculare dazu gehören.

Das Objectiv des einen genauer von mir untersuchten bestand aus zwei achromatischen Doppellinsen und hatte eine Brennweite von 7,9 Millimeter. Die Aberrationen, zumal die sphärische, waren so vollkommen verbessert, dass sich weit stärkere Oculare damit verbinden liessen, als

Digitized by Google

es gewöhnlich zu geschehen pflegt. Bei Benutzung der nämlichen Probeobjecte schien es im optischen Vermögen einem Oberhäuser'schen Linsensysteme von 3,22 Millimeter und einem Nachet'schen Systeme von 4,8 Millimeter Brennweite gleich zu kommen; es stand in dieser Beziehung nur dem Amici'schen Systeme von 8,7 Millimeter Brennweite nach. Mit den beiden Ocularen hatte man eine 200malige und eine 235malige Vergrösserung. Zu einem der anderen Mikroskope gehörte übrigens ein stärkeres Ocular, und die Vergrösserung stieg dadurch bis zu 460, jedoch ohne Vortheil für die Beobachtung.

Die Kellner'schen Mikroskope zeichnen sich besonders durch das grosse und ebene Gesichtsfeld aus, dessen Durchmesser für eine Sehweite von 25 Centimeter bei den genannten Ocularen 22,26 und 27 Centimeter beträgt. Ungeachtet dieser grossen Ausdehnung ist es aber fast frei von Krümmung. Nur mit dem einen Oculare treten noch schwache Spuren davon auf; die geringe Krümmung ist dabei nach innen gerichtet, also gerade umgekehrt wie gewöhnlich. Diese Verbesserung wird bedingt durch passende Einrichtung des Oculars (I, §. 151 u. 162). Bei dem einen Kellner'schen Oculare hat das planconvexe eigentliche Ocular 20 Millimeter, das biconvexe Collectivglas 32 Millimeter Brennweite, und der wechselseitige Abstand beträgt 25 Millimeter. Diese Verhältnisse sind aber, wie es sich von selbst versteht, eigentlich nur dann ganz richtige, wenn man zugleich mit dem Oculare ein Objectiv von bestimmter Brennweite und ein Mikroskoprohr von bestimmter Länge benutzt. Nach Kellner (*Das orthoskopische Ocular, eine neu erfundene achromatische Linsencombination* u. s. w. Braunschweig 1849) besteht das unterste Glas seines Oculares, d. h. also das biconvexe Collectivglas, aus zwei unter einander verbundenen Linsen. Am fertigen Oulare ist das natürlich nicht zu sehen, und noch weniger, ob diese beiden Linsen aus verschiedenen Glassorten bestehen. Um das Mikroskop orthoskopisch zu machen, ist übrigens diese Einrichtung nicht unumgänglich nöthig; dieses Ziel ist auch durch ein einfaches Collectivglas zu erreichen. Auch ist es mir nicht so vorgekommen, als ob durch ein solches orthoskopisches Ocular das eigentliche optische Vermögen des Mikroskopes zunehme; denn vertauscht man es mit einem andern gewöhnlichen Oculare, so erscheinen die nämlichen Probeobjecte und die nämlichen Gruppen des Nobert'schen Probetäfelchens noch gleich deutlich, wenn sie sich nur in der Mitte des Gesichtsfeldes befinden.

Die ungewöhnliche Grösse des Gesichtsfeldes beim Kellner'schen Mikroskope rührte einestheils davon her, dass das Collectivglas dem Oculare mehr genähert ist, anderntheils auch davon, dass die Kellner'schen Oculare, und zwar theilweise aus diesem Grunde, stärker vergrösserten. Das schwächste Ocular gab gut eine achtfache Vergrösserung des durch das Objectiv erzeugten Bildes, während die schwächsten Oberhäu-

Digitized by Google

ser'schen und Nachet'schen Oculare noch nicht halb so stark vergrössern.

Die mechanische Einrichtung der Mikroskope war einfach und zweckmässig: ein scheibenförmiger Fuss, ein runder Objecttisch, dazwischen ein kleiner Hohlspiegel und ein drehbares Diaphragma mit vier Oeffnungen. Die feine Einstellung erfolgte durch eine hinten an der Stange angebrachte Mikrometerschraube, ähnlich wie an den späteren Instrumenten von Oberhäuser und Nachet.

Nach Kellner's Tode ist Fr. Belthle im Jahre 1856 an die Spitze des optischen Institutes in Wetzlar gekommen. Eine Commission, bestehend aus Leuckart, Phöbus, Wernher und Welcker, hat einen Bericht veröffentlicht (H. Welcker, *Ueber Aufbewahrung mikroskopischer Objecte.* Giessen 1856. S. 40), worin die damals dort verfertigten Mikroskope als den besten Kellner'schen beinahe gleichkommend bezeichnet werden, ja in der mechanischen Einrichtung sollen sie es diesen noch zuvor thun. Diesem Urtheile kann ich nicht ganz beistimmen. Die Belthle'schen Mikroskope, die ich bis jetzt zu untersuchen Gelegenheit hatte, stehen in der Schärfe und Klarheit des Bildes hinter jenen seines Vorgängers entschieden zurück. Dabei muss ich aber bemerken, dass ich noch kein Instrument aus der Zeit nach 1860 untersucht habe.

In Belthle's Preiscourant stehen jetzt auch Immersionssysteme. Er hat sieben verschiedene Objective, deren Preis von 3 bis zu 15 Thaler geht; die Immersionssysteme aber kosten 20 bis 30 Thaler. Ein grosses Mikroskop mit vier Objectiven und vier Ocularen, mit einem Ocularglasmikrometer und einem Polarisationsapparate liefert Belthle um 120 Thaler; mit drei Objectiven und drei Ocularen, ohne Polarisationsapparat, um 85 Thaler. Er hat dann auch kleinere Mikroskope für 25, 35, 45, 50, 60 und 70 Thaler.

Ferner haben sich Bénèche und Wasserlein in Berlin als Mikroskopverfertiger einen Namen gemacht. Ende 1850 hatte ich Gelegenheit, einige ihrer kleinen Mikroskope, sowie ein grosses Mikroskop zu untersuchen. Die kleineren Instrumente hatten ganz die nämliche Einrichtung wie die kleinen Oberhäuser'schen Mikroskope; für das grössere Mikroskop hatten Schick und Plössl als Muster gedient. In optischer sowohl wie in mechanischer Hinsicht liessen diese Instrumente viel zu wünschen übrig. Die Vergrösserung war in einem zu starken Maasse in das Ocular verlegt, und doch war weder die sphärische noch die chromatische Aberration der Objective, trotz ihrer ziemlich grossen Brennweite, in hinreichendem Maasse verbessert, um mit starken Ocularen ein reines und scharfes Bild zu geben.

Später haben sie diesen Weg verlassen und sich mehr darauf gelegt,

Digitized by Google

starke Objective zu verfertigen. Bereits im Jahre 1851 erwähnte Schacht (*Das Mikroskop und seine Anwendung*. Berlin 1851. S. 19) ihrer Objective, die der Nr. 7 von Oberhäuser nur wenig nachstanden und also vermuthlich eine Brennweite von nicht ganz 4 Millim. hatten, und ein Jahr später berichtete Schacht (*Botan. Zeitung* 1852. S. 319) nochmals über ein von ihnen verfertigtes System, dessen Vergrösserungskraft sich zu Nr. 9 von Oberhäuser wie 450 : 400 verhielt, so dass man also annehmen muss, seine Brennweite werde nur etwa 1,5 Millim. betragen haben. Im optischen Vermögen erachtete Schacht dieses System dem genannten stärksten Systeme Oberhäuser's ganz gleich. Noch später endlich lieferten sie ein Objectivsystem Nr. 11, das unter allen bisher gefertigten die kürzeste Brennweite hatte, wenn es wahr ist, was Schacht (*Botan. Zeitung* 1852. S. 700) berichtete, dass es mit dem nämlichen Oculare eine doppelt so starke Vergrösserung gab als Oberhäuser's Nr. 9. Das Bild soll nach Schacht Schärfe und Helligkeit besitzen und frei von Farben sein. Die Mikroskope von Bénèche werden auch von Fr. Reinicke (*Beiträge zur neueren Mikroskopie*. Dresden 1858. S. 17) sehr gerühmt.

Im Jahre 1858 hatte ich selbst Gelegenheit, mich davon zu überzeugen, dass Bénèche und Wasserlein seit der Zeit, wo ich ihre kleinen Mikroskope sah, wirklich vorgeschritten waren. Bénèche war gleichzeitig mit mir nach Bonn gekommen und hatte eines von den grossen Mikroskopen mitgebracht. Es hat ganz die Form und die Einrichtung von Oberhäuser's grossen Mikroskopen. Bei einigen Beobachtungen mit dem Systeme Nr. 11 hatte ich ganz nette und saubere Bilder; doch überzeugte ich mich auch davon, dass das Vergrösserungsvermögen und somit auch die Kürze der Brennweite weit hinter dem gleichnamigen Systeme zurückstanden, dessen Schacht gedacht hatte. Die Vergrösserung mit dem schwächsten zu jenem Mikroskope gehörigen Oculare, das aber noch etwas stärker ist als das schwächste Oberhäuser'sche Ocular, ging wenig über 450 Mal hinaus. Ich vermuthe daher, dass ein Irrthum in Schacht's Bestimmung sich eingeschlichen hat. Dafür sprechen auch mit ziemlicher Sicherheit folgende Zahlen bei Naegeli und Schwendener (*Das Mikroskop*, I, S. 124), die sich auf 5 Objective von Bénèche beziehen:

Nr.	4	hat	13,44mm	Brennweite
„	7	„	4,7 „	„
„	8	„	2,95 „	„
„	9	„	3,42 „	„
„	11	„	2,22 „	„

Hiernach gehört Nr. 11 durchaus nicht zu den ungewöhnlich starken Objectiven, ja in Betreff der Brennweite entspricht es ungefähr Nr. 8 von Hartnack und Nr. 6 von Nachet. Damit harmonirt auch, was Nae-

geli und Schwendener über die Sichtbarkeit der Maschen eines Drahtnetzes mit diesem Objective ermittelten. Als äusserste Grenze fanden sie 0,54 Mmm., einen grösseren Werth, als man mit stärkeren Objectiven aus anderen Werkstätten zu erhalten pflegt.

Bénèche und Wasserlein liefern ihre grossen Mikroskope, ganz nach dem Muster der Oberhäuser'schen Mikroskope, mit den Objectivsystemen Nr. 4, 7, 9 und 11 und mit fünf Ocularen um 170 Thaler.

Ein kleineres desgleichen ohne das System Nr. 11 kostet 100 Thaler.

Ein noch kleineres mit den Systemen 4 und 7 und mit drei Ocularen, das ungefähr den kleineren Mikroskopen von Oberhäuser und von Nachet gleichkommt, kostet 30 Thaler.

Seit 5 Jahren kommen noch aus einer anderen Berliner optischen Werkstätte Mikroskope, nämlich von Franz Schmidt und Haensch (*Dragonerstrasse* Nr. 19). Zu ihren zusammengesetzten Mikroskopen gehören mehrere Objectivsysteme, die beiden stärksten Nr. 8 und 9 mit Correctionseinrichtung, zu folgenden Preisen:

Nr. 1	4 Thaler
Nr. 1 + 2	6 „
Nr. 1 + 2 + 3 . . .	8 „
Nr. 4	10 „
Nr. 6	12 „
Nr. 8	25 „
Nr. 9	30 „

Ihre Gestelle, in sechserlei Grössen, scheinen nach den Abbildungen im Preiscourante eine zweckmässige Construction, jedoch ohne neue Einrichtungen zu haben; es sind grösstentheils Copien von Oberhäuser'schen und Nachet'schen Gestellen.

Das grösste Mikroskop, bei dem das grosse Oberhäuser'sche Stativ als Modell gedient hat, enthält die Objective 1, 2, 3, 4, 6 und 9 nebst 5 Ocularen und einem Ocularmikrometer und kostet 180 Thaler. Der Preis der übrigen geht von 12 bis zu 100 Thalern.

Ich habe nur ein mittelgrosses Instrument zu untersuchen Gelegenheit gehabt, das mit den Objectiven Nr. 1, 2, 4 und 6 nebst 3 Ocularen mit 65 Thalern im Preiscourante steht. Es ist ein gutes Arbeitsmikroskop, sorgfältig gearbeitet, mit einfacher aber zweckmässiger mechanischer Einrichtung. Mit ausgezogenem Rohre hat es nur 30 Centimeter Höhe, und es kann eine geneigte Stellung bekommen. Der Objecttisch dreht sich um die optische Axe; der Spiegel kann nach vorn, aber auch zur Seite gebracht werden, behufs schiefer Beleuchtung. Die drei Objective des von mir geprüften Mikroskopes haben folgende Brennweiten:

Nr. 1	18,5 Millimeter
Nr. 3	4,0 „
Nr. 6	3,2 „

Die drei Oculare vergrössern in dem Verhältnisse von 1 : 1,5 : 2,5. Bei centrischer Beleuchtung wird mit Nr. 3 an einem Nobert'schen Probetäfelchen mit 30 Gruppen die 8. Gruppe noch ganz deutlich unterschieden und bei der nämlichen Beleuchtung mit Nr. 6 die 10. Gruppe. Bei beiden Objectiven sind die Bilder durch Schärfe nnd Helligkeit ausgezeichnet.

Sollten die stärksten Objective Nr. 8 und 9 verhältnissmässig eben so tüchtig sein, so würden die Mikroskope von Schmidt und Haensch zu den besten jetzt in Deutschland gelieferten gehören.

In Jena hatte sich C. Zeiss bereits früher durch seine einfachen Mikroskope vortheilhaft bekannt gemacht, und weiterhin hat sich derselbe auch der Anfertigung zusammengesetzter Mikroskope zugewandt. Sechs verschiedene Objective, die mit A, B, C, D, E und F gezeichnet sind, liefert er um 6, 8, 12, 15, 16 nnd 26 Thaler; jedes der 4 Oculare kostet 2 Thaler. Das Gestell seines grössten Mikroskopes (nach dem Muster von Oberhäuser's Hufeisenstativ) allein kostet 55 Thaler, und mit allen Objectiven und Ocularen, einer Camera lucida, einem Polarisationsapparate und anderen Nebeneinrichtungen kostet es 200 Thaler. Er hat aber auch andere wohlfeilere Gestelle bis zu 8 Thaler herunter. Die Mikroskope von Zeiss haben unterm Objecttische eine gewölbte Blendungsscheibe, die sich um eine schief gestellte Achse dreht. Die Ränder der Oeffnungen kommen dadurch näher ans Object. Etwas Erhebliches kann ich indessen in dieser Abänderung des gewöhnlichen drehbaren Diaphragma nicht finden. Jene Instrumente, die mir zu Gesicht gekommen sind, hatten eine ganz gute mechanische Einrichtung; die Objective gehören zu den besten deutschen. Ich habe 4 seiner Objective bei centrischer Beleuchtung und mit dem zweiten Oculare am Nobert'schen Probetäfelchen mit 30 Gruppen geprüft und gefunden:

A	hat	14,9	Millimeter Brennweite,	
D	„	4,3	„ „	und löst die 7. Gruppe,
E	„	4,1	„ „	und löst die 8. Gruppe,
F	„	2,0	„ „	und löst die 12. Gruppe.

Die Instrumente anderer Optiker in Deutschland kenne ich zu wenig, daher ich sie nur im Vorbeigehen erwähnen kann.

Die Mikroskope von Kriegsmann in Magdeburg wurden in der *Botan. Zeitung* 1844, S. 456, und 1845, S. 608, gerühmt; in Betreff der Helligkeit und der Vergrösserung sollten sie den Schiek'schen zum mindesten gleich kommen. Ein Mikroskop nach dem Muster des kleinen Oberhäuser'schen, bis zu 500 Mal vergrössernd, kostete 40 Thaler.

Von Bojung Scato Georg (*Diss. de evolutione sporidiorum in capsulis muscorum.* Gotting. 1844) wurden die Mikroskope von Meyerstein in Göttingen gerühmt; sie sollten eine Vergleichung mit den Schiek'schen und Oberhäuser'schen aushalten.

Im Jahre 1844 sandte Matthiessen in Altona einen kurzen Bericht über seine Mikroskope an die französische Akademie (*Comptes rendus.* XVIII, p. 1158); danach hat er es sich besonders angelegen sein lassen, kleine achromatische Linsen bis zu $^3/_4$ Millim. Durchmesser herzustellen. Zur Verlängerung der Brennweite bringt er hinter das Linsensystem einen divergirenden Meniskus. Um über die Tüchtigkeit seiner Mikroskope zu urtheilen, bedarf es natürlich noch anderer Bürgschaften als blos des kleinen Durchmessers seiner Objective.

Ueber zwei neuere deutsche Mikroskopenverfertiger wurde von Rud. Wagner (*Nachrichten v. d. G. A. Universität u. d. Königl. Ges. der Wiss. zu Göttingen.* 1857, Nr. 19, S. 253) Einiges mitgetheilt. Der eine ist Hensoldt in Sonneberg, dessen Mikroskope die Kellner'schen nachahmen, denen sie zwar in optischer Beziehung nicht ganz gleichkommen, vor denen sie dagegen im Mechanischen den Vorzug haben sollen. Sie kosten 50 Thaler und haben zwei Linsensysteme und drei Oculare, deren stärkstes Wagner jedoch unbrauchbar fand. — Der andere ist Krüss in Hamburg. Derselbe verfertigt Mikroskope in der Form der kleinen *Microscopes coudés* von Oberhäuser und von Schiek, und zwar um den beispiellos niedrigen Preis von 20 Thaler. Nach Wagner sind sie für den ersten Unterricht und für die gewöhnlichsten histologischen Untersuchungen ganz empfehlenswerth, da sie eine 300 malige sehr klare Vergrösserung geben, die bei sehr vielen Untersuchungen ganz ausreicht. Auch die mechanische Einrichtung ist ganz gut. Nach einem Preiscourante vom Jahre 1862 liefert er auch etwas grössere Instrumente mit 2 Objectiven und 2 Ocularen um 36 Thaler.

Aus Hamburg kommen auch Mikroskope von Hugo Schröder. Von einem schon vor ein Paar Jahren gefertigten starken Immersionssysteme mit Correctionseinrichtung bemerkt Frey (Das Mikroskop u. s. w. S. 51), dasselbe sei zwar gut, stehe aber den Hartnack'schen Objectiven nach. In seinem Preiscourante sind 4 dialytische Objective *) mit Brennweiten von $^1/_4$ bis $^1/_{16}$ Zoll, zu 14 bis 20 Thaler verzeichnet. Die Immersionssysteme (Stipplinsen) mit $^1/_8$, $^1/_{12}$, $^1/_{16}$ Zoll Brennweite und 150°, 160°, 175° Oeffnungswinkel kosten 20, 26, 32 Thaler. Der Preis der Gestelle geht von 12 bis zu 60 Thaler.

In München liefert M. Baader Mikroskope. Nach Naegeli und Schwendener (*Das Mikroskop.* I, S. 117) sind seine kleinen Instrumente für 45 Gulden äusserst preiswürdig und aller Empfehlung werth.

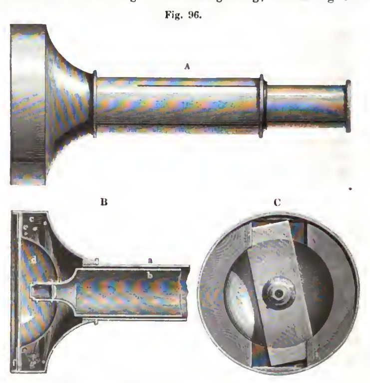
In neuerer Zeit ist Professor Bruno Hasert in Eisenach als Mikroskopenverfertiger bekannt geworden. Reinicke (*Beiträge zur neueren*

*) Ich weiss nicht, worauf dieser Name sich gründet. Dialytische Fernrohre nennt man bekanntlich jene, wo die Kronglaslinse und die Flintglaslinse etwas von einander entfernt sind. Diese Einrichtung wird aber schwerlich mit Vortheil auf das Mikroskop übertragen werden können.

Mikroskopie. Heft 2, S. 74) spricht sich ganz befriedigt über ein Hasert'-sches sehr starkes Objectiv aus. Ich kenne diese Mikroskope nicht, kann daher auch nicht sagen, mit welchem Rechte in Hasert's Preiscourante (*Reinicke, Beiträge.* Heft 3. S. 49) die Mikroskope als solche bezeichnet werden, welche die besten deutschen und englischen in Leistungsfähigkeit übertreffen. In seinem Preiscourante sind nur 3 besondere Objective verzeichnet: das eine mit $^1/_6$ Zoll Brennweite für 35 Thaler, ein anderes mit $^1/_{12}$ Zoll Brennweite für 45 Thaler. Die grössten Mikroskope kosten 120 bis 130 Thaler, kleinere mit Drehtisch, zwei Ocularen und zwei Objectiven 60 Thaler, dieselben ohne Drehtisch 50 Thaler, noch kleinere 25 bis 35 Thaler.

Ich erwähne ferner das *Patent-Schul- und Salonmikroskop* von Engell u. Comp. in Wabern bei Bern, mit der Hauptniederlage bei Schäffer und Budenberg in Buckau-Magdeburg, welches Fig. 96 dar-

Fig. 96.



Patent-Schul- und Salonmikroskop von Engell u. Comp.

gestellt ist. Bei A zeigt sich das äusserst einfache Instrument von der Seite. B ist ein Durchschnitt des Objectivabschnittes desselben. In

Digitized by Google

einem äusseren Rohre *a* gleitet das innere Rohr *b*, woran das Objectiv befestigt ist, so wie an dem fehlenden Ende das Ocular. An das äussere Rohr ist der weite und trichterförmige Patentobjecthalter *c* angeschraubt, worin ein grosser Hohlspiegel *d* mit ringförmigem ebenen Aussenrande *e* befindlich ist, und dieser Rand wird durch eine Spiralfeder *g* an den entsprechenden Vorsprung *f* des Objecthalters angedrückt. Zwischen *e* und *f* werden die Enden der Objecttäfelchen eingeklemmt. Bei C sieht man von vorn auf den Patentobjecthalter, worin ein Objecttäfelchen eingeklemmt ist. Man fasst dieses Mikroskop einfach mit der Hand und richtet es auf den hellen Himmel oder auf eine andere Lichtquelle, wodurch der Hohlspiegel Beleuchtungsapparat für undurchsichtige Objecte wird.

Mit einem Hartnack'schen Objective Nr. 4 versehen kostet das ganze Mikroskop 12 Thaler, und man hat beinahe eine 100malige Vergrösserung. Mit einem stärkeren Objective, so dass es 200 Mal vergrössert, so wie mit einer Mikrometerschraube zu feiner Einstellnng kostet es 18 Thaler.

Dieses kleine Instrument eignet sich recht gut zur Demonstration solcher mikroskopischer Objecte, die keiner gar zu starken Vergrösserung bedürfen. Ist das Object ins Gesichtsfeld gebracht und das Mikroskop richtig eingestellt, so lässt man es von Hand zu Hand gehen, und die Einstellung kann jeden Augenblick nach dem Bedürfnisse des Auges modificirt werden. Vor zwei Jahren lernte ich es durch Herrn v. Rappard in Interlaken kennen, ich liess mir ein Paar kommen und brauche dieselben täglich in den Vorlesungen, wo die Benutzung anderer Mikroskope für eine grössere Anzahl von Znhörern unthunlich ist. Man darf natürlich nicht mehr von diesem Mikroskope verlangen, als es leisten kann. Für feine Einzelnheiten der histologischen Bildung passt es nicht; es reicht aber vollkommen aus, um Pflanzendurchschnitte, Algen, kleine Thiere zu demonstriren, oder um einzelne Theile und Organe, wie die Schneckenzunge, das Hautskelet der Echinodermen, Knochen- und Zahnschliffe, Muskeln, Injectionspräparate u. s. w. zu beschauen.

Wird das Instrument zum Feststellen eingerichtet und mit einem Beleuchtungsapparate versehen, dann kostet es 3 Thaler mehr.

Neuerdings werden auch von Möller u. Emmerich in Giessen Mikroskope geliefert. Ich kenne aber nur ihren Preiscourant, welcher vier verschiedene Arten zusammengesetzter Mikroskope nennt, im Preise von 24 bis 114 Thaler. Die Objective, unter denen auch Immersionssysteme vorkommen, kosten 6 bis 20 Thaler.

Seit etwa 3 Jahren hat auch J. Zaalberg van Zelst in Amsterdam sich mit Erfolg auf die Anfertigung von Mikroskopen und von achromatischen Linsen gelegt. Auf der Leidener Ausstellung physikalischer Instrumente im Jahre 1865 erhielt er für ein Mikroskop, wobei das grosse Nachet'-

sche Instrument als Modell gedient hatte, die zweite goldene Medaille. Ich habe einige seiner Objective zu untersuchen Gelegenheit gehabt, die allerdings die Leistungen der vorzüglichsten Optiker anderer Länder noch nicht ganz erreichen. Sie berechtigen aber zu der Hoffnung einer fortschreitenden Verbesserung, und dass Holland, wo das Mikroskop erfunden worden ist, in dieser Hinsicht künftighin nicht mehr durchaus vom Auslande abhängig sein werde.

60 Während man auf dem Continente in der Herstellung leistungsfähiger Mikroskope so grosse Fortschritte machte, blieb man auch in England hierin nicht zurück. Wir haben schon oben (S. 137) gesehen, dass William Tulley, angetrieben und ermuthigt durch C. R. Goring, sich auf die Anfertigung achromatischer Linsen legte und eine dergleichen von 22 Millim. Brennweite und 18° Oeffnungswinkel zu Stande brachte. Etwas später verfertigte er eine zweite, die gleich der ersten drei Linsen enthielt, 13 Millim. Brennweite hatte und vorderhalb der ersten kam, wodurch eine Combination entstand, die 9 Millim. Brennweite und einen Oeffnungswinkel von 38° hatte (*Philos. Transact.* 1830, p. 187).

Grossen Einfluss auf die Verbesserung des Mikroskopes in England übte Joseph Jackson Lister, der die Benutzung planconvexer achromatischer Doppellinsen empfahl, wie sie Chevalier bereits angefertigt hatte, und theoretisch die beste Weise nachwies, wie sie zu Linsensystemen vereinigt werden könnten (I, §. 63). Schon früher suchte er auch das Gestell der Mikroskope zu verbessern, und unter seiner Leitung verfertigte James Smith bereits im Jahre 1826 ein zusammengesetztes (doch nicht achromatisches) Mikroskop, woran mehrere von den mechanischen Verbesserungen vorkommen, wodurch sich die späteren englischen Mikroskope so sehr auszeichnen. (Quekett l. l. p. 37, wo dieses Mikroskop auch abgebildet ist.)

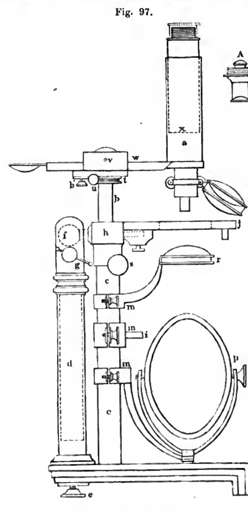
Nach Tulley ist vor Allen Andrew Pritchard in London (*Fleetstreet* Nr. 162) als Verfertiger achromatischer Mikroskope zu nennen. Unterstützt von Goring, welcher dadurch, dass er eine Anzahl Probeobjecte in Aufnahme brachte, die sich vor anderen zur Untersuchung eines Mikroskopes eignen, zu dessen allmäliger Verbesserung wesentlich beitrug, verfertigte Pritchard seit 1829 achromatische Linsensysteme, die alsbald mit den damaligen Chevalier'schen und Amici'schen den Vergleich aushielten.

Das erste Mikroskop, bei dem er diese Linsensysteme in Anwendung brachte, war nach den Ideen und Vorschriften Goring's gearbeitet, der ihm den schon früher gebrauchten Namen Engyskop beilegte (Fig. 97) Es ist zuerst beschrieben in den *Microscopic Illustrations by C. R. Goring and A. Pritchard. Lond.* 1830. Auf einem Dreifusse mit verstellbaren Füssen, und ausserdem noch auf der höher und niedriger stellbaren

Digitized by Google

Schraube *e* rubend, erhebt sich eine hohle cylindrische Säule, innerhalb deren sich eine zweite Säule *d* befindet; diese lässt sich in der erstern herumdrehen, und mit ihr der ganze Mikroskopkörper. Am oberen Ende dieser zweiten Säule befindet sich eine runde muldenförmige Höhlung: darin steckt die Kugel *f*, mit welcher das Stück *h* verbunden ist, der Träger der Stange *cc* und des vierseitigen Objecttisches *j*. Vermöge dieses Kugelgelenkes kann nun das ganze Instrument in verschiedenartige Richtungen gebracht und unter verschiedenen Winkeln aufgestellt werden. Die Schraube *g* mit dem dazu gehörigen Wirbel dient dazu, die Kugel in der Höhlung unbeweglich festzustellen. An der hohlen cylindrischen Stange *cc* schieben sich die drei Klemmringe *mm* auf und nieder: der unterste von den dreien trägt den eirunden Spiegel *p*, der auf der andern Seite mit Gyps bestrichen ist; der zweite soll dazu dienen, dass man an die Feder *i* den Objecttisch anschraubt; mit dem obersten ist die grosse Beleuchtungslinse *r* verbunden. In der Höhlung des Stabes *cc* bewegt sich durch den Trieb *s* die gezahnte Stange *b*; dieselbe ist dreiseitig, hat abgestumpfte Kanten und passt in die dreieckige Höhle zweier Stücke, die sich im obersten

Fig. 97.

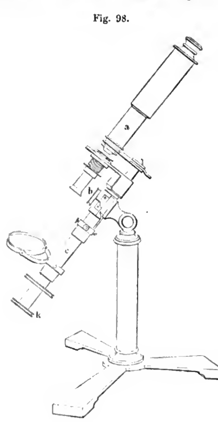


Goring's Engyskop.

Theile der Stange *cc* befinden. Auf dieser dreiseitigen oder eigentlich sechsseitigen Stange ruht der Arm *w*, der an dem einen Ende das Mikroskoprohr *a* trägt, am anderen dagegen die Linsen, für den Fall, dass das Instrument als einfaches Mikroskop gebraucht werden soll. Es lässt sich dieser Arm in dem Stücke *v* hin- und herschieben durch den Trieb *b*, und eine drehende Bewegung hat er durch die gezahnte Scheibe *t*, in welche eine Schraube ohne Ende greift.

Bei der Erfindung dieses Gestelles hatte sich Goring von dem Gedanken leiten lassen, ein zusammengesetztes Mikroskop müsse so eingerichtet sein, dass es unter allen Umständen und zu jeder Art von Untersuchungen benutzt werden könnte. Daher rühren die mancherlei Bewegungen, deren jeder Theil des Instrumentes fähig ist. Um aber zugleich einen hinreichenden Grad von Festigkeit des Ganzen zu Stande zu bringen, musste das ganze Instrument sehr gross und schwer ausfallen, so dass es sich nicht gut handhaben liess. Ueberdies gewähren auch die meisten dieser Bewegungen nur in einer beschränkten Anzahl von Fällen wirklichen Nutzen. Mit Recht hat daher Pritchard seinen eigenen Mikroskopen in späterer Zeit eine andere Einrichtung gegeben.

Fig. 98.



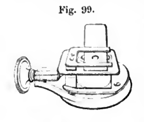
Mikroskop von Pritchard.

Ein Pritchard'sches Mikroskop vom Jahre 1837 ist in Fig. 98 dargestellt. Eine Erklärung dieses Mikroskopes ist kaum nöthig, da der wichtigste Theil der Einrichtung ganz mit jener seines einfachen Mikroskopes (s. Fig. 54) übereinstimmt. Auch lässt es sich auf der Stelle in dieses

umwandeln, wenn man das Mikroskoprohr *a* aus dem Ringe entfernt, in den es eingeschraubt ist. Dieses Gestell ist auch insofern besser als das Goring'sche, weil neben der raschen Bewegung des Objecttisches durch einen Trieb, wozu der breite geränderte Knopf *b* gehört, auch noch für langsame Bewegung gesorgt ist, und zwar in der früher beschriebenen Weise durch eine in dem Rohre *c* verborgene Mikrometerschraube, deren Knopf bei *k* hervorragt.

Im nämlichen Jahre beschrieb Pritchard (*Micrographia* p. 218) noch eine andere Einrichtung zu feiner Einstellung der Objecte (Fig. 99), die zu den vorzüglichern unter denen zählt, welche überhaupt von Pritchard (*Microscopic Cabinet.* Chapt. 15) beschrieben worden sind. Am Objecttische ist nämlich eine Platte befestigt, durch welche eine Schraube mit kegelförmiger Spitze geht. Diese Spitze drückt gegen das Stück, welches den Objectträger bildet, so dass dieses dadurch wie auf einer geneigten Fläche gehoben wird, und eine darüber angebrachte Feder drückt es wieder nach unten.

Fig. 99.



Pritchard's Objecttisch.

Die Pritchard'schen Mikroskopgestelle aus späterer Zeit, wie sie z. B. in der 1845 erschienenen dritten Auflage der *Microscopic Illustrations* p. 88 beschrieben sind, unterscheiden sich von Fig. 98 hauptsächlich darin, dass das ganze Mikroskop, statt auf einem Dreifusse, auf einem runden Fusse ruht, und dass die Säule, welche den Mikroskopkörper trägt, sich um ihre Axe dreht, eine Einrichtung, deren Nutzen die verursachten grösseren Kosten kaum aufwiegen dürfte. Der runde Fuss dagegen ist wohlfeiler und nimmt nicht so viel Raum ein als der Dreifuss, der seinerseits wiederum darin den Vorzug hat, dass er überall auch auf einem nicht ganz ebenen Boden stehen kann.

Was den optischen Theil dieser zusammengesetzten Mikroskope betrifft, so scheint Pritchard eine Zeit lang allen Anderen voraus gewesen zu sein in der Anfertigung von Objectivsystemen mit sehr kurzer Brennweite. Schon 1837 war von dergleichen die Rede, deren Brennweite nicht über $^1/_{18}$ englische Zoll (1,3 Millim.) betrug (*Micrographia.* Lond. 1837, p. 46), also eine so geringe, wie sie auch jetzt nur noch von wenigen erreicht wird.

Zu Pritchard's Mikroskopen gehören gewöhnlich sechs achromatische Linsensysteme, die nach eigener Angabe (*Microsc. Illustr.* 1845 p. 99) folgende Brennweiten und Oeffnungswinkel haben:

2	engl.	Zoll	= 50,8mm	mit	10°	Oeffnungswinkel;
1	„	„	= 25,4	„	15	„
1/2	„	„	= 12,7	„	22	„
1/4	„	„	= 6,4	„	40	„
1/8	„	„	= 3,2	„	50	„
1/16	„	„	= 1,6	„	70	„

Ferner kommen drei Oculare dazu, die sich im Vergrösserungsvermögen wie 1 : 2 : 4 verhalten, so dass man Vergrösserungen von 20 bis zu 3000 bekommen kann.

Ueber die relative Tüchtigkeit der Pritchard'schen Mikroskope kann ich nicht nach eigener Prüfung mich aussprechen. Es unterliegt keinem Zweifel, dass sie viele Jahre hindurch zu den besten gehört haben. Pritchard hat sich aber wohl später von manchen seiner Landsleute und ebenso von manchen Optikern des Festlandes überflügeln lassen. Die vorstehende kleine Tabelle zeigt auch, dass die Oeffnungswinkel seiner Linsensysteme kleiner sind als an den Objectiven von Amici, von Ross und Powell. Ferner fehlt auch den Pritchard'schen Mikroskopen der Correctionsapparat für die Deckplättchen, der bei den anderen neueren englischen Mikroskopen überall vorkommt.

Die jüngste Erwähnung eines Pritchard'schen Mikroskopes habe ich im *Report of Juries* der Londoner Ausstellung von 1851 gefunden, wo es von einem zur Ausstellung gebrachten Instrumente heisst: „Ein achromatisches Mikroskop von altmodischer Form, mit mässig guten (*indifferent*) Objectiven, welches im mechanischen Theile ganz gut ist."

In der Zeitordnung folgt auf Pritchard zunächst Andrew Ross in London (*Featherstone Buildings, Holborn Nr.* 2), der nun bereits 1861 gestorben, und in dessen Geschäfte der Sohn Thomas Ross nachgefolgt ist. Er begann im Jahre 1832 mit der Anfertigung achromatischer Linsen. Schon im vorhergehenden Jahre hatte er sich aber als tüchtiger Mechaniker bekannt gemacht durch das oben (S. 89) beschriebene einfache Mikroskop, und ausserdem hatte er auch Gelegenheit gehabt, mit der Theorie des Achromatismus vertraut zu werden, da er Barlow bei der Darstellung des Flüssigkeitsobjectivs für Fernrohre geholfen und dabei auch die Berechnung der nöthigen Krümmungen für eine solche Linse ausgeführt hatte (Quekett l. l. p. 41).

Ross hat sich besonders Mühe gegeben, den Oeffnungswinkel der Linsensysteme zu vergrössern, was ihm auch so gut gelungen ist, dass seine Objective in dieser Beziehung längere Zeit hindurch alle anderen übertrafen; auch gegenwärtig noch erreichen ihn nur wenige. Die folgende Uebersicht seiner Fortschritte, wie er sie zum Theil selbst mitgetheilt hat (Quekett l. l. p. 430) ist deshalb nicht ohne Interesse.

Zeit der Verfertigung.	Brennweite.	Oeffnungswinkel.
1832 . . .	1 engl. Zoll = 25,4mm	. . . 14°
1833 . . .	Desgl.	. . . 18
1834 . . .	1/4 engl. Zoll = 6,5	. . . 55
1836 . . .	1 „ „ = 25,4	. . . 15
„ . . .	1/8 „ „ = 3,2	. . . 60
„ . . .	1/10 „ „ = 2,5	. . . 72
„ . . .	1 „ „ = 25,4	. . . 22
„ . . .	1/8 „ „ = 3,2	. . . 64
1842 . . .	1/2 „ „ = 12,7	. . . 44
„ . . .	1/4 „ „ = 6,3	. . . 63
„ . . .	1/8 „ „ = 3,2	. . . 74.

Im Jahre 1844 besuchte Amici England und brachte ein Linsensystem mit, wozu statt des Flintglases das schwere Glas von Faraday verwendet worden war; es hatte eine Brennweite von 1/7 englische Zoll oder 3,6 Millim. nnd einen Oeffnnngswinkel von 112°. Ross verfertigte ein Objectiv von gleicher Zusammensetzung, fand aber das Glas von Faraday zu weich und zu zerbrechlich, um eine feine Politur anzunehmen. Deshalb wandte er sich wieder zum gewöhnlichen Flintglase, und endlich brachte er Objective von 1/8 Zoll (3,2 Millim.) mit einem Oeffnungswinkel von 85°, und Objective von 1/12 Zoll (2,1 Millim.) mit einem Oeffnungswinkel von 135° zn Stande.

Das Mikroskop, welches Ross 1851 anf die Londoner Ausstellung lieferte und wofür er die Medaille erhielt, hatte folgende Objective:

1 engl. Zoll = 25,4mm	Brennweite mit	27°	Oeffnungswinkel;
1/2 „ „ = 12,7	„ „	60	„
1/5 „ „ = 5,1	„ „	113	„
1/8 „ „ = 3,2	„ „	107	„
1/12 „ „ = 2,1	„ „	135	„

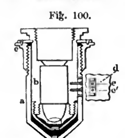
Von der Jury wurde dieses Mikroskop sehr gelobt, namentlich darüber, dass die Doppellinsen, welche die Objective zusammensetzten, aus verschiedenen Glassorten bestanden, wodurch die Farben des secundären Spectrums, die bei Objectiven von gewöhnlicher Zusammensetzung stets zurückbleiben, fast gänzlich beseitigt waren.

Spätere Objective von Ross haben aber selbst einen noch weit grösseren Oeffnnngswinkel. Objective von 1/8 Zoll (3,2 Millim.) Brennweite nnd einem Oeffnungswinkel von 155° erwähnte 1853 bei der Jahressitzung der *Microscopical Society* deren Präsident G. Jackson. (*Quart. Journ.* 1853, III. *Transact.* p. 82.)

Anch hat Ross in England zuerst beobachtet, dass ein Linsensystem, welches gut aplanatisch wirkt, so lange die damit betrachteten Objecte

unbedeckt sind, diese Eigenschaft verlieren kann, sobald ein Deckplättchen auf die letzteren kommt. Er entdeckte dies im Jahre 1837 (*Transact. of the Soc. of Arts* 1837, XLVIII, p. 8), ohne, wie es scheint, zu wissen, dass Amici bereits früher, im Jahre 1829, diesen Einfluss beobachtet hatte. Auch schlug er zur Beseitigung dieses Uebelstandes einen ganz andern, später auch von vielen Anderen befolgten Weg ein, indem er den Abstand zwischen der stärksten untersten Linse und den beiden oberen Linsen veränderlich machte, wie es Fig. 100 im Durchschnitte dargestellt ist. Am Ende der Röhre *a* befindet sich die vorderste oder unterste Linse; diese Röhre gleitet aber über der Röhre *b*, worin die übrigen Linsen stecken. Soll nun in der Linsenstellung eine Veränderung vorgenommen werden, so kann man durch Umdrehen der Schraube *c* die äussere Röhre *a* über die innere bewegen. In der Röhre *a* befindet sich eine Oeffnung, durch welche man den auf der inneren Röhre befindlichen Strich *d* sieht, und die äussere Röhre hat selbst zwei Striche *e* und *e'*, einen längeren und einen kürzeren. Fällt der längere Strich mit dem Striche auf der inneren Röhre zusammen, dann passt das Objectiv für ein unbedecktes Object; liegt dagegen der innere Strich mit dem kürzeren äusseren Striche in gleicher Linie, dann ist das Objectiv für ein Deckplättchen von $^1/_{100}$ engl. Zoll ($^1/_4$ Millimeter) Dicke corrigirt.

Fig. 100.



Objectiv von Ross mit veränderlicher Linsenstellung.

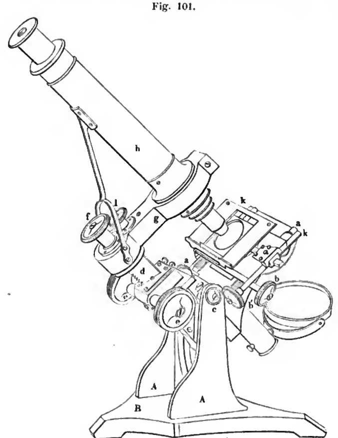
Ich hatte 1860 Gelegenheit, ein dem Rotterdamer Krankenhause gehöriges grosses Mikroskop von Ross aus dem Jahre 1858 zu untersuchen, und seine Objective vergleichend zu prüfen. Sie übertrafen alle mir bekannten im Unterscheidungs- und Begrenzungsvermögen, die schwächeren sowohl als die stärkeren. Das stärkste System mit angeblich $^1/_{12}$ Zoll Brennweite, welches aber in der Vergrösserung etwa mit Hartnack's Immersionssystem Nr. 10 auf gleiche Stufe steht, somit in Wirklichkeit eine etwas kürzere Brennweite von $^1/_{15}$ Zoll oder 1,7 Millim. hat, gab vornehmlich ungemein scharfe Bilder, und übertraf, auch ohne das Hülfsmittel der Immersion, mit den nämlichen Ocularen und bei der nämlichen Beleuchtung das Hartnack'sche Objectiv entschieden. Bei der vergleichenden Prüfung musste ich mich auf ein Paar von den schwierigsten Probeobjecten beschränken. Doch stehe ich nicht an, dieses Objectiv als das vorzüglichste unter allen mir vorgekommenen zu bezeichnen.

Die Gestelle von Ross sind mehr oder weniger zusammengesetzt und stehen danach auch mehr oder weniger hoch im Preise. Das vollständigste, welches er selbst 1843 im *London physiological Journal* beschrieb, ist in Fig. 101 dargestellt. Auf einem schweren Dreifusse *B* er-

Digitized by Google

heben sich zwei vertical stehende Theile *A A* *). Bei *c* befindet sich eine Axe, um welche das ganze Instrument in verticaler Ebene sich herumdreht.

Fig. 101.



Mikroskop von Andrew Ross.

Dieses ist aber so eingerichtet, dass der Drehpunkt ziemlich mit dem Schwerpunkte des Ganzen zusammenfällt. Der Objecttisch *kk* ist in zwei rechtwinkelig gegen einander gestellten Richtungen über einen zollgrossen Raum beweglich mittelst der gereiften Cylinder *aa*, welche durch Drehung der geränderten Knöpfe *b* und *b'* in Bewegung gesetzt werden. Die dreiseitige Stange *d*, welche den Arm *g* mit dem Mikroskoprohre *h* trägt, wird durch die geränderten Knöpfe *ee* auf- und niederbewegt; zur feineren

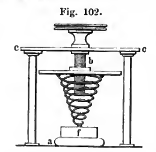
*) Die Benutzung zweier Säulen oder Stangen statt einer, um den Körper des Mikroskopes horizontal stellen zu können, wurde zuerst von George Jackson im Jahre 1838 eingeführt (*Microsc. Journal.* I, p. 177).

Digitized by Google

Einstellung dient aber der geränderte Knopf *f*, der mit einer Schraube und einem Hebel verbunden ist, so dass das Mikroskoprohr durch jede vollständige Umdrehnng nm $^1/_{300}$ Zoll sich hebt oder ssnkt. Durch den andern geränderten Knopf *l* wird der Arm *g* fest an die dreiseitige Stange *d* gedrückt.

Ross hat noch mehrere andere Gestelle von etwas verschiedener Form, die man in der *Penny Cyclopaedia*, Art. *Microscope*, sowie bei Qnekett (l. l. p. 86) beschrieben nnd abgebildet findet, die aber hier zu beschreiben nicht nöthig ist. Bei allen seinen Instrumenten hat Ross auf grosse Festigkeit besonders Bedacht genommen, um der Erschütterung und zitternden Bewegung möglichst vorzubeugen. Zn diesem Ende hat er auch eine besondere Vorkehrung ausgedacht, den Fuss des Mikroskops festzustellen, die in Fig. 102 dargestellt ist. Bei *f* sieht man das Ende eines der Füsse vom Mikroskopdreifusse; es ruht auf einem Stücke Filz *a*, welchss auf dem Tische liegt. An dsm Fussende befindet sich aber eine Klammer, in welche das hakenförmig umgebogene Ende einer Spiralfeder greift, und diese Feder stösst ihrerseits an eine Platte, so dass sie dnrch die Schranbe *b* abwärts getrieben wird. Die Schranbe bewegt sich nämlich in der Platte *cc*, die von drei Füssen gstragen wird, von dsnen aber in der Figur nur zwei angegeben sind.

Fig. 102.



Einrichtung zur Feststellung des Mikroskopfusses von Ross.

Diese Einrichtung, obwohl sie gut ausgedacht ist, scheint mir doch dem beabsichtigten Zwecke wenig zu entsprechsn; denn die wirksamste Veranlassnng zn Bewegungen des Mikroskopes, nämlich die Erschütterung der Wände des Gebäudes, worin man arbeitet, dnrch Fuhrwsrke nnd dergleichen lässt sich dadurch wohl niemals ganz beseitigen.

Thomas Ross hat im Jahre 1861 das Geschäft seines verstorbenen Vaters übernommen und in würdiger Weise fortgesetzt. Im eben genannten Jahre machte er den Objecttisch bedentend dünner, als an den früheren Instrumenten, so dass er namentlich znr Beobachtung bei schief einfallendem Lichte passt, nnd ausserdem stattete er ihn znr Bewegung nm die Axe sowohl wie in fortschreitender Richtung mit allen Mitteln aus, die an den grösseren englischen Mikroskopen angetroffen werden. Die Beschreibung und Abbildung findet sich im *Quart. Journ.* January 1861. N. Ser. I, p. 67.

Bei der Ansstellnng im Jahre 1862 sprach sich die Jury über die von Thomas Ross ausgestellten Mikroskope folgendsrmaassen aus. „Die Instrumente haben verschiedene Qualität nnd deshalb auch verschiedene Prsise; das bezieht sich aber nur auf ihre grössere oder geringere Zusam-

mensetzung, denn die Arbeit ist bei allen gleich gut. Die optischen Elemente sind bei allen gleich gut, in den Ocularen wie in den Objectiven; es finden sich keine von zweiter oder geringerer Qualität darunter. Die Einrichtung des Objecttisches lässt nichts zu wünschen übrig; die dünnen in querer Richtung sich bewegenden Platten sind an einem drehbaren Ringe befestigt, dessen Durchmesser ausreicht, um die Unterfläche des Objectes in möglichst schiefer Richtung zu beleuchten. Dieses Gestell wurde allgemein als das beste auf der Ausstellung anerkannt. Von den Objectiven lässt sich kaum zu viel sagen: sie zeichnen sich alle durch Verbesserung der Aberrationen und somit durch ihr Begrenzungsvermögen aus; zumal jene mit mittlerer Vergrösserung haben ein ganz ebenes Gesichtsfeld, und im ganzen Umfange des letzteren behalten die Bilder ihre Schärfe."

Eine Schattenseite der Instrumente von Ross ist freilich ihr hoher Preis, der selbst von keinem der übrigen englischen Mikroskopenverfertiger erreicht wird. Die nachstehende Tabelle, worin zugleich die Oeffnungswinkel und die Vergrösserung mit den vier Ocularen angegeben sind, entnehme ich dem Preiscourante von Ross:

Brennweite.	Oeffnungs-winkel.	Vergrösserung mit Ocular				Preis.
		A	*B*	*C*	*D*	
2	50°	20	30	40	60	3 Pfund — Schilling
1½	20	40	55	70	90	3 „ — „
1	15	60	80	100	120	2 „ — „
1	25	„	„	„	„	3 „ 10 „
½	65	100	130	180	220	5 „ 3 „
¼	95	220	350	500	620	5 „ 5 „
⅙	135	320	510	700	910	8 „ 8 „
⅛	150	400	670	900	1200	10 „ 10 „
1/12	170	650	900	1250	2000	18 „ — „

Ein vollständiger Satz der Objective kommt somit fast auf 60 Pfund. Das grösste Gestell ohne Objective und Oculare und ohne Nebenapparate kostet 30 Pfund. Ein vollständiges Mikroskop von Ross kostet demnach 100 Pfund, d. h. doppelt so viel, als ein grosses Instrument von einem französischen oder deutschen Optiker.

Allerdings hat Ross auch einfachere und deshalb billigere Gestelle bis zu 5 Pfund 10 Schilling herab, natürlich ebenfalls ohne Objective und Oculare, die immer besonders bestellt werden müssen.

Digitized by Google

Einige Jahre nach Andrew Ross, nämlich 1834, wandte sich Hugh Powell, der bis dahin andere physikalische Instrumente geliefert hatte, dem Mikroskope zu, und innerhalb weniger Jahre brachte er es sehr weit als Mikroskopenverfertiger. Er verband sich mit seinem Schwager Lealand, und die Firma Powell and Lealand in London (4 *Seymour Place, Euston Square, New Road, opposite St. Pancreas Church*) hat jetzt in England gleichen Ruf mit der von Ross.

Zuerst machte sich Powell durch eine zweckmässige Einrichtnug zur feinen Einstellung des Objecttisches bekannt (*Transactions of the Soc. of Arts*, 1834. L.). Die langsame Bewegung wird dadnrch zu Stande gebracht, dass der Tisch auf drei Füsschen ruht, unter denen drei geneigte Flächen gleichzeitig durch eine Schraube bewegt werden, von deren einmaliger Umdrehung der Tisch um $1/_{300}$ Zoll sich hebt oder sich senkt. Am Knopfe der Schraube ist eine Eintheilung in zwanzig Theile, so dass mithin $1/_{6000}$ Zoll angegeben wird. Auch kann die Einrichtung zugleich zum Messen der Brennweite benutzt werden.

Powell machte aber anch im optischen Theile rasche Fortschritte, und bereits 1840 lieferte er ein achromatisches Objectiv von $^1/_{16}$ engl. Zoll (1,6 Millim) Brennweite, dem von einem competenten Beurtheiler, von Quekett (l. l. p. 43), grosses Lob gezollt wird. Nur ist es unrichtig, wenn Quekett dasselbe als das erste englische Objectiv von so kurzer Brennweite bezeichnet, da Pritchard schon mehrere Jahre früher aplanatische Objective mit gleich kurzer, ja selbst mit noch kürzerer Brennweite hergestellt hatte.

Weiter fortschreitend hat er 1856 ein Objectivsystem von $^1/_{16}$ engl. Zoll Brennweite zu Stande gebracht, welches den damals noch nicht erreichten Oeffnungswinkel von 175° hatte, und dem von Shadbolt (*Quart. Journ.* 1857, XIX. *Transact.* p. 141) das höchste Lob ertheilt wurde.

Die schädliche Wirkung der Deckplättchen suchte er auf dem nämlichen Wege zu beseitigen wie Ross.

Ein Objectiv von angeblich $^1/_{16}$ Z. Brennweite aus dem Jahre 1860 habe ich einer genauen Untersuchung unterwerfen können. Bei stärkster Annäherung der Linsen fand ich 1,36 Mm. (etwa $^1/_{18}$ Zoll) Brennweite und einen Oeffnungswinkel von 175 bis 176°, wobei aber der wirklich nutzbare Theil nicht über 145° betrug. Ich brachte es in directe Parallele mit Hartnack's Immersionssysteme Nr. 10, indem ich beiderlei Objective nach einander dem nämlichen Mikroskope anschraubte, ganz gleich beleuchtete, und durch Verlängerung und Verkürzung des Rohres möglichst die nämliche Vergrösserung zu Stande brachte. Hierbei verhielten sich mehrere schwierige Probeobjecte nahezu auf die nämliche Weise. Eben so wurden auch bei der nämlichen Beleuchtung die gleichnamigen Liniengruppen eines Nobert'schen Probetäfelchens durch beide Objective

Digitized by Google

gelöst. Wenn ein ganz geringer Unterschied bestand, so fiel der Vorzug dem stärkeren Systeme von Powell und Lealand zu.

Die Brennweite correspondirt so ziemlich jener des Objectivs Nr. 11 von Hartnack, mit dem ich einen directen Vergleich nicht habe anstellen können. Allein wenn man das noch zu Erwähnende mit S. 156 vergleicht, so ersieht man, dass das Powell'sche Objectiv im optischen Vermögen noch etwas nachsteht.

Die Methode, die Grenzen des optischen Vermögens mittelst Luftbläschen zu bestimmen, war bei diesem Objective wegen des geringen Abstandes des Brennpunktes von der Unterfläche der untersten Linse nur schwer zur Anwendung zu bringen. Selbst die dünnsten Deckplättchen waren kaum ausreichend, das Mikroskop ohne Berührung mit dem Deckplättchen so einzustellen, dass das Bildchen unter der Luftblase scharf gesehen wurde. Nur Einmal gelang dieses Verfahren, als zwei parallele Drähte zur Bildbildung benutzt wurden, und da hatte das kleinste Bild

des Drahtes . . $0{,}108^{mmm} = {}^1/_{9260}$ Millimeter,
des Interstitiums . $0{,}188^{mmm} = {}^1/_{5320}$ Millimeter.

Dieser ausnehmend geringe Abstand des Brennpunktes von der unteren Fläche des Objectives steht der Benutzung des letzteren zur Untersuchung organischer Gewebe gar hindernd im Wege. Gleichwohl sind Powell und Lealand auf dieser Bahn noch weiter vorgegangen. Anfangs 1862 hatten sie ein Objectiv mit $^1/_{25}$ Zoll Brennweite gefertigt, wozu aber nach Brooke (*Quart. Journ.* 1864. N. Ser. XIV. *Transact.* p. 74) ein Deckplättchen gehört, das nur 0,003 Zoll (etwa $^1/_{12}$ Millimeter) dick sein darf. Im October 1864 endlich legten sie der Londoner *Microscopical Society* ein Objectiv mit nur $^1/_{50}$ Zoll Brennweite vor *), dem zumal von Beale (*Quart. Journ.* 1865. N. Ser. XVII. *Transact.* p. 26 und XVIII. *Transact.* p. 21) hohes Lob gezollt wird. Selbst noch bei 4000facher Vergrösserung soll das begrenzende Vermögen sehr gross sein.

Die Erfahrung wird erst darüber entscheiden müssen, ob solche starke Objective wirklich als eine Bereicherung der mikroskopischen Untersuchung zu gelten haben. Das darf man aber wohl prophezeien, dass nur eine geringe Anzahl von Fällen vorkommen werden, wo sie mit Vortheil in Anwendung kommen können.

In der umstehenden Tabelle sind die verschiedenen Objective von Powell und Lealand nach dem Preiscourante von 1865 verzeichnet, zugleich mit den Oeffnungswinkeln und den Vergrösserungen.

*) Powell und Lealand sind nicht die Ersten, die solche Objective herstellten. Nachet's Nr. 8 aus dem Jahre 1858 hatte nur 1,07 Millim. ($^1/_{24}$ Zoll) Brennweite. Wenham lieferte aber schon 1856 ein Objectiv mit $^1/_{35}$ Zoll Brennweite, und im Jahre 1860 ein solches mit $^1/_{50}$ Zoll Brennweite (*Quart. Journ.* 1860. XXXI, p. 145).

Brennweite in engl. Zoll.	Oeffnungs-winkel.	Vergrösserung mit Ocular					Preis.
		1	2	3	4	5	
2	14°	25	37	50	100	150	2 Pfd. 15 Schill.
1½	20	37	56	74	150	220	3 „ — „
1	30	50	74	100	200	300	3 „ 3 „
⅔	32	75	111	150	300	450	3 „ 10 „
½	70	100	148	200	400	600	5 „ — „
⅖	80	125	187	250	500	750	5 „ 5 „
¼	95	200	296	400	800	1200	5 „ 5 „
¼	130	„	„	„	„	„	7 „ 7 „
¼	145	„	„	„	„	„	8 „ 8 „
⅕	100	250	370	500	1000	1500	6 „ 6 „
⅛	130	400	592	800	1600	2400	8 „ 8 „
1/12	145	600	888	1200	2400	3600	10 „ 10 „
1/16	175	800	1184	1600	3200	4800	16 „ 16 „
1/25	160	1250	1850	2500	5000	7500	21 „ — „
1/50	150	2500	3700	5000	10000	15000 *)	31 „ 10 „

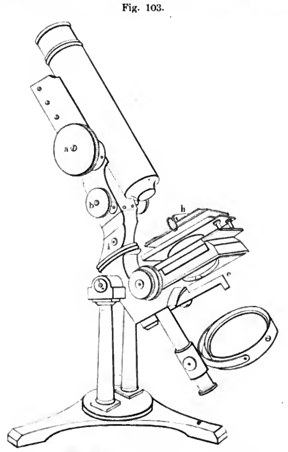
Das Mechanische an Powell's Mikroskopen verdient alles Lob; mit Zierlichkeit, Feinheit und genauer Arbeit verbindet sich Festigkeit. Er hat übrigens verschiedene Gestelle, an denen er nach einander verschiedene Veränderungen vorgenommen hat. Eines seiner grossen Mikroskope, wie er sie seit 1841 (*Microscopic. Journ.* I, p. 177) lieferte, ist Fig. 103 dargestellt. Auf einem festen messingenen Dreifusse ruht eine runde Platte, die sich herumdrehen lässt; auf ihr stehen zwei runde Säulen,

*) Wer diese ausserordentlichen Vergrösserungen sieht, der kann leicht auf den Gedanken kommen, dass mit einem derartigen Instrumente auch weit mehr muss gesehen werden können, als mit Instrumenten, die nicht über 1500 bis 1800 Mal hinausgehen, wie die auf dem Continente gefertigten Mikroskope. Ich muss daher bemerken, dass durch die Zahlen in dieser Tabelle nur berechnete Vergrösserungen angegeben werden, und daraus noch keineswegs gefolgert werden darf, es werde mittelst dieser starken Vergrösserungen an den Objecten noch etwas mehr zur Wahrnehmung kommen, als was man schon bei den schwächeren Vergrösserungen erkennt. Aus eigener Erfahrung kann ich über die stärksten Objectivsysteme von Powell und Lealand kein Urtheil abgeben, aber gerade jetzt (6. Juli) schreibt mir Herr van Heurck, der eben aus London zurückgekehrt ist: *J'ai vu chez Mr. Beale les 1/25 et 1/50 de pouce de Powell et Lealand. Je n'en ai pas été fort satisfait. Il faut un éclairage disposé tout spécialement, et il me semble, que les contours des images n'étaient pas des plus nettes.*

Digitized by Google

zwischen denen der Körper des Mikroskopes eine verticale, ebenso aber auch eine unter verschiedenen Winkeln geneigte Stellung annehmen kann.

Fig. 103.



Grosses Mikroskop von Powell und Lealand.

Zur groben Einstellung dient der geränderte Knopf *a*, durch welchen ein Trieb in Bewegung gesetzt wird. Die feinere Einstellung geht vom Knopfe *b* aus, oder von einem ähnlichen auf der entgegengesetzten Seite: mit der hierdurch umgedrehten Schraube hängt ein kegelförmiges Stück zusammen, wogegen ein anderes Stück, das mit dem Rohre verbunden ist, mittelst einer Feder andrückt. Der unterste Theil des Armes, welcher das Rohr trägt, hat bei *i* einen kegelförmigen Stachel, der in das Stück passt, womit der Objecttisch verbunden ist, und so lässt sich das Rohr zur Seite drehen, wenn das Objectiv gewechselt werden soll. Der Object-

tisch hat den beweglichen Tyrrell'schen Schlitten, von dem weiterhin die Rede sein wird, und auch ein Schraubenmikrometer; er kann ferner um seine Axe gedreht werden, und oben hat er eine Klemmfeder *h* zum Festhalten der Objecte. Unter dem Objecttische bei *e* befindet sich ein kurzer Arm, um schwarze Scheiben darauf zu legen, wenn man zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte reflectirende Hohlspiegel gebraucht. Der Spiegel ist concav und eben und kann zur centrischen und excentrischen Beleuchtung benutzt werden; unter den Objecttisch kann ein achromatisches Linsensystem geschraubt werden, oder ein drehbares Diaphragma mit verschiedenen Oeffnungen.

Dieses grosse Gestell mit zwei Ocularen, aber ohne Objective, Nebenapparate und Kasten, kostet 24 Pfund; ein etwas kleineres 16 Pfund.

Auch mancherlei andere Gestelle, die mehr oder weniger von dem beschriebenen abweichen, und nicht alle hier beschrieben werden können, kommen aus der Werkstatt von Powell und Lealand. Eines davon ist noch theurer als das vorige, da das Mikroskop mit allen dazu gehörigen Apparaten gegen 100 Pfund kostet. Die bedeutende Grösse und Schwere des ganzen Instrumentes, namentlich des Objecttisches, der sieben Quadratzoll gross ist und alle Bequemlichkeiten und Bewegungen kleinerer Instrumente nur in grösserem Maassstabe darbietet, bedingt hauptsächlich diesen hohen Preis. Späterhin scheint jedoch dieses Gestell nur wenig gesucht worden zu sein.

Sie haben indessen auch viel wohlfeilere Gestelle gemacht. Viel Abgang haben namentlich jene, bei denen der Dreifuss, die Säulen und der Objecttisch aus Gusseisen bestehen, und die im Uebrigen so eingerichtet sind, dass sie mit den stärksten Objectivlinsen benutzt werden können und für alle Zwecke ebenso brauchbar sind als die weit theureren Instrumente.

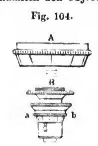
Dieses Gestell mit den Ocularen kostet 17 Pfund 11 Schilling.

Der Dritte, der sich in London durch seine achromatischen Mikroskope einen Namen gemacht hat, ist Smith, mit der Firma: Smith *and* Beck, jetzt aber Smith, Beck *and* Beck (Nr. 31 *Cornhill* E. C.). Smith hatte schon viele Jahre früher gewöhnliche Mikroskope verfertigt. Achromatische Objectivlinsen fertigte er erst 1839, und 1841 legte er der *Microscopical Society* ein Mikroskop vor, welches im folgenden Jahre (*Microscop. Journal* II, p. 1) beschrieben wurde. Es gehörten vier Objectivlinsen dazu, welche theils für sich, theils mit einander verbunden gebraucht werden konnten; die stärkste hatte $^1/_4$ Zoll Brennweite. Er verbesserte aber seine Mikroskope mehr und mehr und liefert jetzt auch Objectivsysteme von $^1/_8$ und $^1/_{12}$ Zoll, seit 1863 auch von $^1/_{20}$ Zoll Brennweite.

Das Verfahren von Ross, die Objective für die Benutzung von Deckplättchen einzurichten, hat durch Smith eine erfolgreiche Verbesserung

erfahren, die wohl bald allgemeiner befolgt werden wird, da sie in noch stärkerem Maasse als die Amici'sche Methode auch bei Deckplättchen von sehr verschiedener Dicke zulässig ist. Smith stimmt darin mit Ross und mit Powell überein, dass die unterste Linse des Systems durch Drehung des Röhrchens, worin sie gefasst ist, den beiden anderen mehr genähert oder entfernter davon gerückt werden kann; er wendet aber ein Mittel an, wodurch, wenn die Dicke des Deckplättchens bekannt ist, diese Entfernung derartig eingerichtet wird, dass sie der Dicke des Deckplättcheus sowohl als der Entfernnng zwischen Ocular und Objectiv, welche hier durch Herausziehen oder Hineinschieben des innersten Rohres verlängert oder verkürzt werden kann, am besten entspricht. Er hat nämlich den Objectiven die in Fig. 104 dargestellte Einrichtung gegeben.

Fig. 104.



Objectiv mit verstellbaren Linsen von Smith.

Die bewegliche Röhre, worin die unterste Linse steckt, und die bei A in wahrer Grösse dargestellt ist, hat einen vorspringenden Rand mit zehn Eintheilungen, die von 0 bis 9 gezeichnet sind. Eine gleichwerthige Eintheilung ist an dem geränderten Knopfe des Mikroskopes angebracht, mittelst dessen die feine Einstellung bewirkt und zugleich auch die Dicke der Deckplättchen gemessen wird: 15 Abtheilungen kommen auf $^1/_{100}$ Zoll in der Luft, etwa 10 auf $^1/_{100}$ Zoll im Glas.

Ist nun das Mikroskoprohr nicht ausgezogen, so muss der eingetheilte Rand ab des Objectives B gedreht werden, bis 0 dem verticalen Striche auf der Röhre gegenüberstcht, wobei dann zwei oder drei horizontale Striche, deren jeder eine vollständige Umdrehung des Randes bezeichnet, ganz freiliegen. So weit ungefähr lässt sich die Schraube ohne Mühe herumdrehen.

Will man dann wissen, wie weit jener Rand gedreht werden muss, damit das Objectiv für ein Deckplättchen von einer gewissen Dicke passt, so multiplicirt man die Zahl der Theilungen, wodurch die Dicke angegeben wird, die also auf dem geränderten Knopfe zur feinen Einstelllung stehen, mit 0,7 für das Objectiv von $^4/_{10}$ Zoll Brennweite, und mit 0,9 für das Objectiv von $^1/_4$ Zoll Brennweite. Man bekommt die verlangte Verbesserung, wenn man den Rand bis znr Ziffer des erhaltenen Productes dreht, indem man ihn abwärts schraubt und das Rohr der untersten Linse aufwärts drückt.

Ist das Mikroskoprohr ausgezogen und hat das benntzte Objectiv $^4/_{10}$ Zoll Brennweite, so muss die Ziffer, auf welche der Rand eingestellt wird, vermehrt werden um:

2,5	Abtheilungen	für 1	Zoll	Auszug,
4	"	" 2	"	"
5	"	" 3	"	"
6	"	" 5	"	"

Beim Objective von 1/4 Zoll Brennweite übt die Verlängerung des Rohres weniger Einfluss. Für die vier ersten Zolle der Verlängerung kann man jedoch rechnen, dass die Ziffer für jeden Zoll um eine Abtheilung vermehrt werden muss.

Die Mikroskope von Smith erfreuten sich vieler Anerkennung. Auf der Londoner Ausstellung im Jahre 1851 erhielt er den nämlichen Preis wie Ross, und auf der Pariser Ausstellung im Jahre 1855 bekam er eine Medaille erster Classe. Die Objective sind vortrefflich, wenn auch die Londoner Jury jenen von Ross eine grössere Tüchtigkeit einräumte. Erwähnt muss werden, dass Smith Objective von 4/10 engl. Zoll (6,1 Mm.) Brennweite verfertigt mit dem ausserordentlichen Oeffnungswinkel von 90°, wodurch sie sich besonders zur Beobachtung von Objecten bei auffallendem Lichte eignen.

Man hat sich indessen immer mehr davon überzeugt, dass in dem Maasse, als durch Vergrösserung der Oeffnung der Objective das Unterscheidungsvermögen des Mikroskopes zunimmt, dessen begrenzendes Vermögen abnimmt. In der Rede, womit Georg Shadbolt am 11. Februar 1857 die Versammlung der *Microscopical Society* eröffnete (*Quart. Journ.* 1857. XIX. *Transact.* p. 143), liest man daher, dass Smith und Beck ihre stärkeren Objective mit einem drehbaren Diaphragma mit verschiedenen Oeffnungen versehen haben, damit die Oeffnung des Objectivs nach Willkür vergrössert oder verkleinert werden kann. Diese Einrichtung habe ich aber schon 1849 empfohlen.

Smith hat folgende Preise für seine Objective:

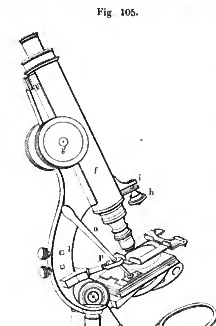
Brennweite in engl. Zollen.	Oeffnungs-winkel.	Preis.	
2	10°	1 Pfund	10 Schilling
1 1/2	20	1 "	10 "
1	22	2 "	10 "
1/2	40	2 "	10 "
1/4	75	2 "	10 "
1/8	120	5 "	5 "

Die neueren Preise für die Systeme 1/12 und 1/20 Zoll sind mir unbekannt. Früher war 1/12 Zoll mit 10 Pfund 10 Schilling angesetzt, wahrscheinlich ist aber der Preis jetzt etwas höher.

Digitized by Google

Smith hat auch verschiedene Gestelle, natürlich zu verschiedenen Preisen. Ein grosses Mikroskop desselben ist Fig. 105 dargestellt. Auf dem festen Dreifusse *A* ruhen die Säulen *b* und *b*. Diese haben oben Charniere, zwischen denen der Arm *l* aufgehangen ist und mittelst deren das ganze Instrument verschiedene Winkelstellungen bekommen kann. Dieser Arm hat ganz nach oben und innen zwei Rinnen, in denen sich zwei Stangen auf- und niederbewegen, die an das Mikroskoprohr *f* befestigt sind Eine Rinne nebst der zugehörigen Stange ist dreikantig, die andere eben und mit einer Zahnleiste versehen; die letztere ist dazu bestimmt, durch den geränderten Knopf *g* das Mikroskoprohr auf und nieder zu schieben, während die erstere hierbei nur als Conductor dient. Innerhalb des Mikroskoprohres befindet sich ein zweites, das ausgezogen werden kann und zur Aufnahme der Oculare bestimmt ist; an sein unteres Ende aber passt ein kürzeres Rohr, welches durch die Schraube *i* sich auf- und niederwärts schieben lässt, die ihrerseits wieder auf das Ende eines Hebels wirkt, wodurch die feine Einstellung zu Stande kommt. Auf den geränderten Knopf *h* sind zehn Abtheilungen eingeschnitten, um die Dicke der Deckplättchen zu messen. Der Objecttisch hat zweierlei Bewegungsapparate, nämlich den Schlitten von Tyrrell, und den Apparat von Alfred White, welcher durch den Hebel *o* wirkt; von beiden wird bei den Hülfswerkzeugen näher die Rede sein. Der Beleuchtungsapparat besteht aus einem in allen Richtungen beweglichen concaven und ebenen Spiegel, aus einem drehbaren

Fig. 105.



Grosses Mikroskop von Smith und Beck.

Diaphragma und aus einem achromatischen Lichtverstärker, der in der Figur nicht abgebildet ist.

Ausser diesen grossen Mikroskopgestellen werden in der Werkstatt von Smith und Beck noch manche andere von einfacherer Construction gefertigt. Das eine stimmt ziemlich mit jenem der Oberhäuser'schen Mikroskope, doch ist der Fuss, gleichwie bei den neueren Instrumenten des Letztern, so eingerichtet, dass der Spiegel eine freie Bewegung hat.

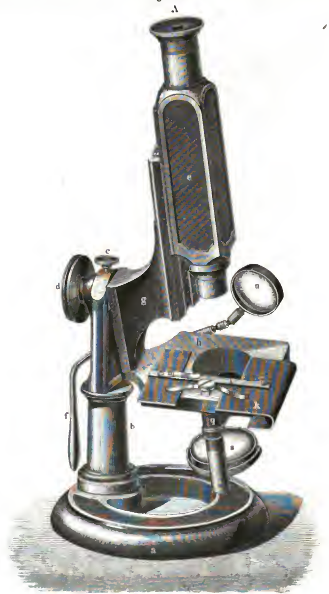
Das grosse Mikroskop von Smith und Beck mit 5 Objectiven, 3 Ocularen, einem achromatischen Condensator, Wenham's Paraboloïdreflector, einem Polarisationsapparate, einem Ocularmikrometer, einem Objecttischmikrometer und einigen anderen Nebendingen kostet 84 Pfund. Sie haben aber auch kleinere Mikroskope zu ganz verschiedenen Preisen bis zu 5 Pfund herab. Letzteres (*The Students Microscope*) hat zwei Objective und wird als ein gutes Instrument um diesen Preis gerühmt.

In den letzten Jahren haben Smith und Beck ein von allen übrigen abweichendes Mikroskopgestell geliefert, das achromatische sogenannte *Universalmikroskop*, welches in Fig. 106 abgebildet ist und einer besonderen Beschreibung bedarf. In A sehen wir das ganze Mikroskop. Auf dem breiten ringförmigen Fussstücke *a* steht die Säule *b*, oben mit einer Axe versehen, um die sich das ganze Instrument dreht, wobei es durch die Schraube *c* in der verlangten Richtung festgestellt wird. In gleicher Höhe mit der Axe befindet sich der Knopf *d* zum raschen Auf- und Abbewegen des Armes *g*, woran der Mikroskopkörper *e* sitzt. Der Hebel *f*, der gerade nach unten herabhängt, braucht nur etwas zur Seite gedrückt zu werden, so fasst er in den Knopf *d*, und dieser bewegt sich dann sehr langsam, wodurch eine feine Einstellung ermöglicht wird. Der Objecttisch *h* hat einen cirkelförmigen Ausschnitt *p*, und unter diesem befindet sich das bei *q* drehbare Diaphragma. Die Doppelfeder *i* greift nach links und rechts über die Kupferplatte *k* auf dem Objecttische. Die Leiste *l* mit der kleinen Feder *m* ist dazu bestimmt, die Objectgläser gegen die Kupferplatte anzudrücken. Letztere hat übrigens auf der einen Seite eine Umbiegung, damit sie, den Zeige- und Mittelfinger nach unten und den Daumen nach oben, festgehalten werden kann. Man kann so bei geneigter Stellung des Mikroskopkörpers das Object in verschiedenen Richtungen bewegen, ohne dass ein Abgleiten vom Objecttische zu besorgen ist. Nach Umständen lässt sich auch die Feder mit der Kupferplatte wegnehmen und durch einen beweglichen und drehbaren Objecttisch ersetzen. Der Beleuchtungsapparat besteht aus dem gewöhnlichen Spiegel *s* und aus dem Condensator *u*.

An die Stelle des vierseitigen Mikroskoprohres *e* kann aber auch die in B (s. S. 218) dargestellte Einrichtung treten, nämlich 3 Oculare und 3 Objective, die sich um eine horizontale Axe drehen und so der Reihe nach in die optische Axe des Instrumentes gebracht werden können. Durch

einen Druck auf den Stift *x* wird eine Feder weggeschoben, so dass sich die Scheibe, welche die Oculare oder die Objective trägt, herumdreht; ist

Fig. 106.

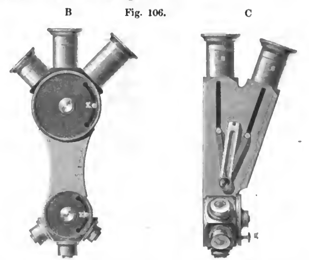


Universalmikroskop von Smith, Beck u. Beck.

Digitized by Google

aber die erforderliche Strecke durchlaufen, so springt der Stift wieder vor und die Weiterbewegung ist aufgehoben.

B Fig. 106. C



Man kann endlich auch den in C dargestellten, nach Wenham's Methode eingerichteten binoculären Mikroskopkörper einschieben. Daran befindet sich ebenfalls eine drehbare Scheibe mit drei Objectiven.

Auf der Londoner Ausstellung im Jahre 1862 hatten Smith und Beck ein sogenanntes *Museumsmikroskop* ausgestellt. Es ist ein grosser messingener Cylinder, auf dem sich ein Mikroskopkörper befindet. Der grosse Cylinder umschliesst 8 andere, an denen im Ganzen 504 verschiedene Objecte befestigt sind, und zwar so vertheilt, dass jeder Cylinder eine besondere Classe von Objecten trägt. Dreht man an einem Knopfe auf dem äusseren grossen Cylinder, so kommen der Reihe nach alle Objecte ins Gesichtsfeld und zugleich liest man auf einem sichtbaren kleinen Streifen den Namen jedes Objectes. Durch sehr einfache Mittel können die inneren Cylinder ihre Stelle ändern, so dass sich ein Object nach dem anderen zur Anschauung bringen lässt. Die Beleuchtung erfolgt durch einen im äusseren Cylinder befindlichen Spiegel.

Der Zweck dieser Einrichtung, nämlich auf bequeme Weise viele mikroskopische Objecte auch minder Geübten zur Ansicht zu bringen, wird ganz gut erreicht. Das Ganze ist so fest und so bequem zu handhaben, dass nicht leicht eine Beschädigung durch einen ungeübten Beobachter zu besorgen ist, dergleichen doch mit dem gewöhnlichen Mikroskope nicht selten vorkommt (*Quart. Journ.* 1862. N. S. VII. p. 199).

Neben diesen drei bekannten Firmen für achromatische Mikroskope in London giebt es in England auch noch andere, die sich mit gutem

Digitized by Google

Erfolge auf die Anfertigung von Mikroskopen gelegt haben. Dahin gehört J. B. Dancer in Manchester (*Cross-street*, Nr. 43). Das Gestell seiner grossen Mikroskope stimmt in den meisten Beziehungen mit jenem von Powell und von Smith überein, so dass eine besondere Beschreibung überflüssig ist. Anch die optische Einrichtnng ist keine andere, und nach Quekett (l. l. p. 97, wo auch das Gestell beschrieben ist) sind die Linsen sehr gut. Dabei sind Dancer's Mikroskope weit billiger.

Das Mikroskop mit zwei Linsensystemen von 1 und $1/2$ (oder $1/4$) Zoll Brennweite nebst Einem Oculare kostet 10 Pfd. 10 Schill.

Das Mahagonikästchen dazu . . .	1 „	1 „
Ein einzelnes Ocular	— „	14 „
Ein Objectiv von $1/4$ Z. Brennweite .	2 „	10 „
Desgleichen von $1/8$ Z. „	3 „	3 „
Ein beweglicher Schlitten für den Objecttisch	2 „	2 „ .

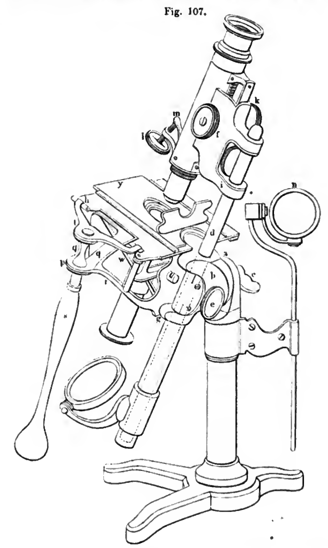
Besondere Erwähnung verdient noch das Mikroskop von Samuel Varley, welches Fig. 107 (a. f. S.) dargestellt ist. Ein Dreifuss trägt eine schwere runde Säule mit einer platten Scheibe *a* am oberen Ende, die in der Mitte durchbohrt ist; damit steht das Mikroskop in Verbindung mittelst des Stückes *b* und der Schraube *c*. Durch das Stück *b* geht die lange Stange *d*, welche durch die Schraube *e* festgestellt werden kann. An diesem Stücke *b* ist der Objecttisch befestigt, der aus mehreren über einander gleitenden Platten besteht und so eingerichtet ist, dass ein Object auf der obersten Platte mittelst des Hebels *s* in allen möglichen Richtungen sich langsam hin- und herschieben lässt. Wie dies geschieht, soll später beschrieben werden. Das Mikroskoprohr legt sich in die Aushöhlung des Stückes *f*, welches durch die beiden Arme *i* mit der Stange *d* verbunden ist und darauf mit einer Klemmschraube festgestellt werden kann. Hinten ist an dem Rohre eine gezahnte Stange befestigt; mittelst dieser Stange und eines Triebes, dessen gezahnter Knopf bei *k* sichtbar ist, erfolgt eine raschere Bewegung des Mikroskoprohres. Bei *l* sieht man den geränderten Knopf der Schraube, die zur feinen Einstellung bestimmt ist; sie drückt gegen einen Hebel *m*, der mit einer kurzen Röhre verbunden ist, an welche das Objectiv geschraubt wird. Diese Röhre befindet sich innerhalb des grösseren Rohres und wird dort durch eine Spiralfeder nach unten getrieben, während der Hebel in entgegengesetzter Richtung wirkt *). Zur Beleuchtung dient ein Spiegel, der sich in alle Stellungen

*) Dieses Mittel zur feinen Einstellung genügt zwar, um das Objectiv in die rechte Entfernung vom Objecte zn bringen, ist aber in anderer Beziehnng nicht ausreichend. Es wird dadurch nämlich auch die Entfernnng zwischen Ocular und Objectiv verändert, und somit auch die Vergrösserung. Hieraus folgt aber, dass bei dieser Einrichtung keine mikrometrische Methode Anwendung finden kann, wobei es anf genaue Kenntniss der Vergrösserung ankommt. und eben so wenig ist dabei irgend ein Ocularmikrometer zu verwenden.

Digitized by Google

bringen lässt, sowie eine Linse *n* auf beweglichem Arme, wodurch dieselbe auf alle gewünschten Punkte und in alle Stellungen gebracht werden kann. Ohne die Objectivsysteme kostet dieses Gestelle 20 bis 30 Pfund.

Fig. 107.



Varley's Mikroskop.

Ich habe hier auch des Mikroskopes zu erwähnen, welches nach Professor Harley's Anweisung von Collins (*Great Titchfield-Street*, London) zu 12 Pfund Sterling geliefert wird. Die Beschreibung desselben

nebst Abbildung, welche sich im *Arch. f. mikroskop. Anat.* I, S. 440 findet, zeigt, dass die verschiedenen zusammensetzenden Theile auf sehr compendiöse Weise verbunden sind und ihre Benutzung mit grosser Raschheit ins Werk gestellt werden kann. Das Mikroskop ist auf dem Boden eines Mahagonikastens befestigt, welcher zugleich die Unterlage bildet. Eine hier angebrachte Rinne ist zur Aufnahme des Randes einer Glasstürze bestimmt. Das Instrument ist, wie gebräuchlich, von polirtem Messing und 18 Zoll hoch. Die Oculare sind mit kleinen Schirmen versehen zum Schutze für die Augen, eine Einrichtung, die sich namentlich bei anhaltendem Gebrauche als äusserst nützlich bewährt. Am Ende des queren Arms ist der Kasten, welcher sowohl das Wenham'sche binoculäre Prisma, als den Analysator für den Polarisationsapparat birgt, und durch blosses Ausziehen oder Einschieben desselben kann das Mikroskop augenblicklich aus einem binoculären in ein monoculäres Mikroskop oder in ein Polarisationsmikroskop umgewandelt werden.

Unmittelbar unter dem queren Arme sind die beiden Objective, ein starkes (1/4") und ein schwaches (1") so angebracht, dass, um die Vergrösserung zu wechseln, nur eine Bewegung derselben vor- oder rückwärts nöthig ist. Da dieselben mit einer Schraube befestigt sind, so können sie leicht gegen andere stärkere, die der Beobachter wünscht, umgetauscht werden. Das Mikroskop hat grobe und feine Einstellungsschrauben, einen magnetischen Apparat auf dem Objecttische zum Festhalten der Objecte bei Schiefstellung des Mikroskopes, und eine Rinne in dem magnetischen Querbalken zur Application von Maltwood's Finder. Unter dem Objecttische im Diaphragma ist der Polarisator für den Polarisationsapparat angebracht. Der Doppelspiegel besitzt ein dreifaches Gelenk, so dass schiefes Licht in allen Richtungen einfallen kann.

Ausser den bisher Genannten giebt es noch manche andere Verfertiger von Mikroskopen in England, die den drei zuerst genannten Londoner Optikern durch gute Instrumente nahe zu kommen bemüht sind. Dahin gehören M. Pillischer, W. Ladd, Salmon, Amadio, Highley, Matthews in London, W. King in Bristol, Grubb in Dublin, Field u. Comp. in Birmingham *). Die letztgenannte Firma hat sich noch auf besondere Weise verdient gemacht. Wenngleich es nämlich in England an Verfertigern ausgezeichneter Mikroskope nicht fehlte, so wurden doch noch fortwährend die wohlfeileren Instrumente von Oberhäuser und Nachet in Menge dahin verkauft. Deshalb setzte die *Society of Arts* in London Anfangs 1855 zwei Medaillen aus: a) für ein einfaches Mikroskop mit Linsen von 1 Zoll bis 1/8 Zoll Brennweite, welches

---

*) Einige, wie Salmon, Ladd, Highley, und Matthews liefern nur die mechanische Einrichtung der Mikroskope und geben französische Objectivsysteme dazu.

Digitized by Google

nicht über 10 Schilling 6 Pence kostete; b) für ein zusammengesetztes achromatisches Mikroskop mit zwei Ocularen und zwei Objectiven, von denen das eine mit dem schwächsten Oculare 25 Mal, das andere 125 Mal vergrösserte, ferner mit einem Spiegel, der auch zur seitlichen Beleuchtung dienen kann, und mit einem Diaphragma mit mehreren Oeffnungen; der Preis dieses Mikroskops sollte nicht über 3 Pfund 3 Schilling gehen. Im Falle der Zuerkennung der Medaillen erklärte sich die Gesellschaft bereit, 100 kleinere und 50 grössere Instrumente anzukaufen. Diese Preisausschreibung hatte den besten Erfolg. Am 13. Juni 1855 berichtete die aus den Herren Busk, Dr. Carpenter, Jackson, Dr. Lankester, Quekett und Saunders bestehende Commission, dass sich mehrere Bewerber gefunden hätten, dass sie aber nach sorgfältiger Prüfung den Preis einstimmig den Herren Field u. Comp. in Birmingham zuerkenne, die den gestellten Bedingungen vollkommen Genüge geleistet hätten. Nach Beale (*Quart. Journ.* Oct. 1857. p. 44) ist dieses Mikroskop von Field ein für diesen Preis recht gutes Instrument. Dafür spricht auch der grosse Absatz; denn 1859, also 4 Jahre später, waren bereits 1393 Stücke verkauft (*Quart. Journ.* XXVII, p. 77).

Am Schlusse dieser Uebersicht der englischen Mikroskope sind noch einige mehr für sich dastehende Verbesserungen zu nennen, auf die man in der letzten Zeit gekommen ist. Dahin gehört zunächst die von Wenham (*Quart. Journ.* 1857. XIX. *Transact.* p. 143) ersonnene und auch wirklich in Ausführung gebrachte Modification der Correctionseinrichtung, wodurch die Objective sich zur Verwendung bei Deckplättchen von verschiedener Dicke eignen. Es wurde oben (S. 204) erwähnt, dass Ross zu diesem Zwecke die unterste Linse des Objectivs beweglich machte, um sie bis zu einem gewissen Grade den beiden anderen nähern oder davon entfernen zu können. Mit dieser Einrichtung ist nur der Nachtheil verbunden, dass man, um die richtige Entfernung der untersten Linse zu finden, das Objectiv immer vom Objecte entfernen muss, damit man nicht gegen das Deckplättchen stösst, und beim Herumdrehen kommt auch das Object aus dem Focus. Deshalb hat Wenham sein Objectivsystem so eingerichtet, dass die unterste Linse unverrückt bleibt, dagegen aber die beiden anderen zusammen sich bewegen: man verliert so das Object nicht aus dem Gesichte und vermag mit grösster Sicherheit zu beurtheilen, ob beim Umdrehen der Schraube, durch welche diese Bewegung zu Stande kommt, das Bild an Schärfe gewinnt oder verliert. Diese Modification ist scheinbar sehr unbedeutend; das ist sie aber in praktischer Beziehung nicht und sie verdient gewiss Nachahmung.

Ferner gehört hierher der Versuch Brooke's (*Quart. Journ.* April 1853. *Transact.* p. 83), zwei ungleich vergrössernde Objective dergestalt zu vereinigen, dass nach einander das eine und das andere unter das

Digitized by Google

Mikroskoprohr kommt, ohne dass man doch das erste abzuschrauben braucht, um das zweite an seine Stelle zu bringen. Zu dem Ende ist unten am Mikroskoprohre ein Arm angeschraubt, der nach vorn sieht und einen Stift trägt, um welchen sich ein Stab herumdreht. An beiden Enden dieses Stabes sind Objective angeschraubt, und durch Umdrehen desselben kann jedes der Objective unter das Mikroskoprohr kommen, während das andere Objectiv weit genug vom Objecttische entfernt bleibt, dass es nicht hinderlich ist. Brooke hat auf diese Weise zwei Objective am Mikroskope angebracht, das eine von 1 Zoll Brennweite zum allgemeinen Ueberblicke, das andere von $^1/_4$ Zoll Brennweite zur genaueren Untersuchung. Ein solcher Objectivträger kommt jetzt vielfach bei englischen Mikroskopen vor, und zwar unter den Namen *Double nose-piece*.

Der Gedanke, zwei oder selbst mehr Linsensysteme so zu verbinden, dass sie sich um eine Axe drehen, ist zwar nicht neu, da man ihm schon bei dem auf S. 117 abgebildeten Martin'schen Mikroskope begegnet, die Sache verdient aber auch noch aus einem Grunde Empfehlung, der Brooke entgangen zu sein scheint. Dem Mikroskope fehlt es nämlich noch an einem Sucher, wie ihn das Fernrohr besitzt, und diesem Mangel scheint wirklich durch die Einrichtung Brooke's abgeholfen werden zu können, wenn man dabei Sorge trägt, dass die Unterflächen der beiden Objective sich genau in der entsprechenden Entfernung vom Objecttische befinden, die ihren verschiedenen Brennweiten entsprechend ist, wo man dann durch das eine wie durch das andere Objectiv die Objecte scharf sieht, ohne dass vorher eine Stellveränderung nöthig wäre. Bei solcher Einrichtung würde der kleine Apparat wirklich zeitsparend sein. Es liesse sich aber auch so machen, dass das eine Objectiv, das stärkere nämlich, durch andere noch stärkere ersetzt werden kann, denen allen das schwächste Objectiv dann als Sucher diente. Die einzige Schwierigkeit liegt darin, dass die mechanische Ausführung eine höchst sorgfältige sein muss, damit das Objectiv beim Umdrehen der Stange immer genau in die optische Axe des Instruments kommt und auch alles fremde Licht abgeschlossen bleibt. Natürlicher Weise wird der Preis des Instrumentes dadurch erhöht, und durch häufigen Gebrauch tritt auch leicht eine Abnutzung ein.

Ich habe schon früher (S. 164) erwähnt, dass Nachet ebenfalls eine solche Verbindung zweier Objective, aber auf etwas andere Art, zu Stande gebracht habe. Eben so war bei der Beschreibung des Universalmikroskopes von Smith (S. 217) von den um eine gemeinschaftliche Axe sich drehenden Ocularen und Objectiven die Rede. Smith hat aber auch ein *Quadruple nose-piece* mit 4 Objectiven hergestellt; das ist eine sich um ihre Axe drehende Stange mit 4 gebogenen Armen, die so an dem Mikroskope befestigt ist, dass die Axen der 4 Objective in einer Kugelfläche liegen, deren eine Seite mit der Axe des Mikroskopkörpers zusammenfällt.

Digitized by Google

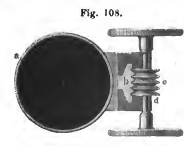
Somit bildet es gleichsam eine Verdoppelung der Nachet'schen Einrichtung.

Englische Mikroskopenverfertiger (Lobb, Smith, Swift) haben die gezahnte Stange und das Rad zur gröberen Bewegung durch eine Kette ersetzt, die in der Säule des Instrumentes eingeschlossen liegt. Ich bezweifele aber, dass darin eine Verbesserung liegt. Ein Instrument mit solcher Kettenbewegung, das vor einigen Jahren aus England nach Utrecht kam, wurde wenigstens sehr bald defect.

Auf andere Weise hat Wenham (*Quart. Journ.* 1859. XXVII, p. 201) dieses Ziel zu erreichen gesucht, nämlich nach dem bereits in der Baumwollenspinnerei eingeführten Verfahren, dass zwei verschiedenartige Metallflächen, wie Stahl und Kupfer, in einander greifen.

In Fig. 108 zeigt sich die Wenham'sche Schraubenbewegung im Durchschnitte. Hier ist *a* das Rohr des gewöhnlichen Mikroskopes. In den messingenen Arm *b* sind 3 oder 4 längslaufende tiefe und scharfkantige Gruben geschnitten, und diese vertreten die gezahnte Stange. Das gezahnte Rad ist durch einen kleinen Stahlcylinder *c* ersetzt, um den herum eben so viele Rinnen verlaufen, als deren der Arm hat. Sie sind aber so gestellt, dass die vorspringenden Kanten und die Rinnen beider genau in einander greifen. Durch die Feder *d* werden beide Theile genau gegen einander gehalten. Dreht man den einfachen oder doppelten Knopf an den Enden der Axe des Stahlcylinders, so wird in Folge der Reibung der Arm *b* mit dem Mikroskoprohre aufwärts und abwärts bewegt. Nach Wenham bewegt sein Apparat eine Last von 16 Pfund, ohne auszugleiten, und die Bewegung soll eine ganz sanfte sein.

Fig. 108.



Wenham's Schraubenbewegung.

Die Art und Weise, wie die Objectivsysteme durch Schraubenverbindung mit dem Mikroskopkörper zu vereinigen sind, hat die *Microscopical Society* beschäftigt; dieselbe beauftragte eine Commission, bestehend aus den Herren Jackson, Brooke und Perigal, bestimmte Vorschriften dafür aufzustellen, und diese Commission brachte am 11. November 1857 ihren Bericht (*Quart. Journ.* 1857. XXII. *Transact.* p. 39). Der Hauptzweck einer Aufstellung solcher Vorschriften ging dahin, dass künftighin Objective aus verschiedenen Werkstätten an die Mikroskope der verschiedenen Optiker angesetzt werden könnten. Für England ist dieser Zweck guten Theils erreicht, da die drei Hauptfirmen Londons (Ross, Powell, Smith) sich bereit erklärt haben, das vorgeschlagene Modell

anzunehmen. Indessen ist es nicht gerade wahrscheinlich, dass die Optiker des Continents sich dem auch allgemein anschliessen werden.

Ich hätte nur wünschen mögen, es wäre bei dieser Gelegenheit statt der Schraubenverbindung die Bajonetverbindung gewählt worden, die den doppelten Vorzug hat, dass die Objective dabei rascher gewechselt werden können und dass die Centrirung eine zuverlässigere ist.

In Nordamerika fing Charles A. Spencer vor mehreren Jahren an, Objective zu verfertigen. Die ersten Nachrichten darüber gaben Gilman und Bailey (*American Journ. of Sc. and Arts*. 1848, March, Nr. 14, p. 237 u. 297, und 1849, March, p. 265). Spencer machte bald grosse Fortschritte, so dass nach dem Zeugnisse seiner Landsleute seine Objective den besten englischen fast den Rang ablaufen, und jene von Chevalier, von Plössl, von Oberhäuser übertreffen. Sein Mikroskopgestell hat viel Aehnlichkeit mit dem Chevalier'schen; seine Objective haben $^1/_3$, $^1/_7$ und $^1/_{12}$ engl. Zoll (8,2, 3,6 und 2,1 Millimeter) Brennweite. 61

Die namentlich von Bailey hochgerühmte Vortrefflichkeit der Spencer'schen Objective bewirkte eine Art Wettkampf mit den englischen Mikroskopen, woran namentlich Marshall nnd Warren de la Rue Theil nahmen (*American Journal* 1851. p. 82). Zu einem bestimmten Entscheid konnte man aber nicht kommen, da man über die Abstände der Striche auf den als Probeobjecte benutzten Diatomeenschalen (*Navicula Spenceri* und *Grammatophora subtilissima*) sich nicht vereinigen konnte; ein sprechender Beweis dafür, wie unzuverlässig die der Natur entnommenen Probeobjecte sind, wenn man die relative Tüchtigkeit verschiedener Mikroskope feststellen will, oder wenn zwei von einander entfernt wohnende Beobachter nach einander dasselbe Object nnter möglichst gleichen Umständen nntersuchen. Diese Erfahrung wurde aber auch hanptsächlich Veranlassung, dass man die verschiedenen Arten von Indicatoren ersann, von denen später die Rede sein wird.

Im Jahre 1851 hatte Burnett (*American Journ.* 1851, Nr. 12, p. 56) auf einer Reise nach Europa Gelegenheit, Spencer's Objectivsysteme mit denen von Ross, von Powell n. Lealand, von Nachet zu vergleichen. Für die besten erklärte er die von Ross und von Spencer, ohne aber zu entscheiden, welcher von diesen beiden höher stand.

Im Jahre 1852 gelang es Spencer, ein Objectivsystem mit $^1/_{12}$ engl. Zoll Brennweite und einem Oeffnungswinkel von $174^1/_2{}^0$ herzustellen, wie ein Brief von A. S. Johnson (*American Journ.* 1852, p. 31) angiebt. Dasselbe würde für diese Brennweite unübertroffeu dastehen denn das oben (S. 210) erwähnte Objectiv von Powell u. Lealand mit 175^0 Oeffnung hat nur $^1/_{16}$ engl. Zoll Brennweite.

Nordamerika besass neben Spencer noch Mikroskopverfertiger an Wm. Buffhum and Son in Milburne, Lake Co Illinois, an J. and

W. Grunow in Newhaven, Conn. (*American Journ.* 1855, July, p. 143). Von ihren Instrumenten ist mir nichts Näheres bekannt; doch wurden jene der letztgenannten Firma im *American Journ.* 1857, Nov., p. 448 sehr gerühmt. Im Kataloge von 1857 waren ihre Objective von 2, 1, 1/2, 1/4, 1/8 und 1/12 Zoll Brennweite mit 14, 18, 25, 30, 40 und 60 Dollars verzeichnet.

Ferner ist Robert B. Tolles in Canastota, New-York, zu nennen. Nach Berichten würden seine Objective den besten europäischen nicht nachstehen. Schon 1861 hatte er ein Objectiv mit 1/30 engl. Zoll Brennweite und 160° Oeffnungswinkel hergestellt (*American Journ.* 1861, January), womit W. S. Sullivant und T. G. Wormley die weiterhin mitzutheilenden Zählungen der Linien in den Gruppen des Nobert'schen Probetäfelchens vornahmen, indem sie durch Einschieben einer achromatischen convexen Linse die Vergrösserung bis auf 6000 steigerten. Bis zur 26. Gruppe waren die Striche mit Sicherheit zu zählen, in der 27. 28. und noch mehr in der 29. waren zwar die Striche noch sichtbar, aber nicht scharf unterscheidbar, deshalb auch nicht mehr mit Sicherheit zu zählen. Dass auch die schwächeren Objective von Tolles Vorzügliches leisten, ist aus einem Berichte vom Professor H. James Clark (*American Journ.* 1864, Nov. p. 331) zu entnehmen. Ein im Juni genannten Jahres geliefertes Objectiv hatte 1/4 Zoll Brennweite, einen Oeffnungswinkel von 150°, und ohne Deckplättchen blieben die Objecte noch 1/50 Zoll davon entfernt. Es konnte aber auch ein Deckplättchen von 1/40 Zoll Dicke darauf kommen und es blieb noch immer ein gewisser Zwischenraum. Das begrenzende Vermögen dieses Objectives soll höchstens erreicht, aber noch nicht übertroffen worden seyn.

Neuerdings werden von H. L. Smith (*Amer. Journ.* 1865. p. 242) die Objective von W. Wales u. Comp. (Fort Lee, Bergen Co., New Jersey) gerühmt.

Ich erwähne hier noch des Vorschlags des Nordamerikaners Riddell (*Quart. Journ.* July, 1853, Nr. IV, p. 305), die feine Einstellung durch ein Pumpwerk zu erzielen, indem man in eine Kautschukröhre mit elfenbeinernem Mundstücke, das in den Mund kommt, athmet. Der Hauptvortheil dabei wäre, dass alsdann beide Hände zur Bewegung des Objectes frei blieben, was bei Zergliederungen unterm Mikroskope wichtig ist. Riddell hat sein Verfahren daher auch zunächst für das einfache, zu Sectionen benutzte Mikroskop in Anwendung gebracht. Eine nähere Beschreibung der Einrichtung des Apparates hat Riddell nicht gegeben, er rühmt aber gar sehr dessen Brauchbarkeit. Jedenfalls ist es eine gute Idee, die näher geprüft zu werden verdiente.

Weiterhin werden wir auch in Riddell den Erfinder einer neuen und besseren Form des binoculären Mikroskopes kennen lernen.

62 In der vorhergehenden Uebersicht der neueren Verbesserungen des zusammengesetzten Mikroskopes habe ich absichtlich jene übergangen,

welche auf die Umkehrung des Bildes Bezug haben; diese sollen jetzt noch besonders zusammengestellt werden.

Das Theoretische über diesen Gegenstand ist bereits früher (I, §. 197 ff.) angegeben worden. Wenn aber dort die Umkehrung durchs Ocular zuletzt genannt wurde, so ist sie hier voranzustellen, da sie der Zeit nach den übrigen Methoden vorausgegangen ist.

Schon kurze Zeit nach der Entdeckung des Fernrohres, im Jahre 1611, wies Keppler (*Dioptrice*, Probl. 99) nach, wie man drei concave Linsen zu stellen hat, wenn man die Objecte in ihrer natürlichen Richtung sehen will, und Reita wandte dieses Princip 1645 wirklich auf das Fernrohr an.

Beim zusammengesetzten Mikroskope, wo die kleinen biconvexen Objectivlinsen ein weit weniger scharfes Bild geben, musste diese Verbesserung weit schwieriger zn erzielen sein. Bei älteren Mikroskopen scheint man anch nicht einmal den Versuch dazn gemacht zu haben. Nachdem aber das Objectiv aplanatisch gemacht worden war nnd das dadurch entstehende Bild weit schärfer und heller hervortrat, lag der Gedanke sehr nahe, die letzte Unvollkommenheit, die dem zusammengesetzten Mikroskope noch anklebte und wodurch es dem einfachen Mikroskope nachstand, die Umkehrung der betrachteten Gegenstände nämlich, zu beseitigen, nnd es war ganz natürlich, dass man zunächst zu jenem Mittel griff, dessen man sich schon seit einer Reihe von Jahren beim Fernrohre bedient hatte.

Eine Vermehrung der Ocurgläser zum Zwecke der Bildumkehrung brachte Lister zuerst in jenem Mikroskope zur Anwendung, welches Smith im Jahre 1826 nach seiner Anweisnng verfertigte nnd wobei achromatische Linsen von Tnlley benutzt wurden (Qnekett l. l. p. 110). Die späteren englischen Mikroskopverfertiger haben dieses Verfahren allgemein angenommen, und auf Verlangen fügen sie ihren Instrumenten ein solches nmkehrendes Glas (*crecting glass*) bei. Im Preiscourant von Smith u. Beck ist es z. B. mit 1 Pfund verzeichnet. Meistens ist dann anch ein inneres ausziehbares Rohr dabei, an dessen Unterende der Umkehrungsapparat geschraubt wird, nämlich eine kurze Röhre mit zwei planconvexen Linsen, deren convexe Seite aufwärts gerichtet ist. Dies war schon 1830 am Mikroskope von Pritchard nnd Goring angebracht.

Nachdem dieses Mittel in England schon längere Zeit in Gebrauch gekommen war, dachte man auch anderwärts an die Erreichung dieses Zweckes, indessen auf andere Weise. Chevalier, der, wie wir sahen, Amici's horizontales Mikroskop nachmachte, musste bald wahrnehmen, dass durch das darin enthaltene rechtwinkelige Prisma die Bilder eine halbe Umkehrung erfahren. Es war nnn klar, dass eine zweite halbe Umkehrung durch ein zweites rechtwinkelig zum ersten stehendes Prisma

Digitized by Google

eine vollständige Umkehrung zur Folge haben werde. Er führte das auf die in Fig. 109 dargestellte Weise aus, indem er ein rechtwinkeliges gläsernes Prisma in der hier verzeichneten Richtung in einem Röhrchen vor das Ocular brachte.

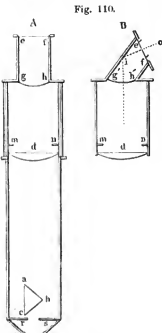
Fig. 109.

Chevalier's bildumkehrendes Prisma.

Das nämliche Princip der doppelten totalen Reflexion ist auch beim bildumkehrenden Mikroskope Nachet's festgehalten, welches dieser zuerst im Jahre 1843 verfertigte (*Comptes rendus*, 1843. XVII, p. 917). Vor dem Chevalier'schen hat es den grossen Vorzug, dass das Mikroskoprohr vertical steht, so dass die Hände, wenn Zergliederungen darunter vorgenommen werden, viel freier sind. Auch ist die Unterfläche des oberen Prisma convex geschliffen, so dass dasselbe zugleich als Linse wirkt und das Gesichtsfeld grösser macht.

Das Rohr dieses bildumkehrenden Mikroskopes ist in Fig. 110 im Durchschnitte dargestellt, und zwar bei A das ganze Mikroskoprohr, bei B das Ocular allein für eine Stellung, die von jener bei A um 90° differirt. Die erste halbe Umkehrung erfolgt durch das Prisma *abc*, welches unmittelbar über dem Diaphragma *rs* in der Nähe des Objectives angebracht ist. Bei *d* befindet sich ein gewöhnliches planconvexes Collectivglas und bei *mn* ein Diaphragma. Das zweite Prisma, welches durch seine convexe Unterfläche auch als Ocular wirkt, befindet sich bei A in *efgh*, bei B in *e'f'g'h'*. Aus der Abbildung ersieht man, dass ein in *o* befindliches Auge, welches unter einem Winkel von etwa 45° auf die gerade Fläche *e'f'* des Prisma sieht, die Bilder der Objecte, die sich unter dem Mikroskope befinden, in ihrer wahren Richtung nach dem Verlaufe der Linie *oi* sehen wird.

Fig. 110.



Durchschnitt von Nachet's bildumkehrenden Rohre.

Es gehören zu diesem Mikroskope vier achromatische Doppellinsen, die einzeln, oder zu zwei, drei oder vier vereinigt, unten an den kegelförmigen Theil des Rohres bei *pq* angeschraubt werden. Bei dem von mir untersuchten Instrumente fand ich:

Objectiv.	Vergrösserung.	Abstand der Unterfläche des Objectives vom Objecte.
Eine Doppellinse	20	48mm
Zwei Doppellinsen	50	17
Drei Doppellinsen	92	8
Vier Doppellinsen	104	5

Bei einer Projection von 25 Centimeter beträgt der Durchmesser des Gesichtsfeldes 165 Millimeter; man kann daher bei den genannten Vergrösserungen noch 8,2, 3,3, 1,8 und 1,6 Millimeter des Objectes übersehen.

Helligkeit und Lichtstärke sind selbst bei der stärksten Vergrösserung und bei auffallendem Lichte noch immer ausreichend, so dass man bei gewöhnlichem Tageslichte und ohne Anwendung concentrirender Linsen arbeiten kann. Nur dazu hat Nachet sein Instrument eingerichtet. Durch Weglassen des Spiegels kann er demselben eine geringere Höhe geben, die nicht mehr als 20,5 bis 25 Centimeter über dem Objecte, und 25,5 bis 29 Centimeter über dem Tische beträgt, d. h. also eine solche Höhe, bei welcher die meisten Personen bequem im Sitzen arbeiten können. Das ganze Mikroskop (Fig. 111) ist übrigens sehr einfach zusammengesetzt. Es hat einen kurzen, aber schweren cylindrischen Stamm *b* mit einem festen Querarme *k*, woran ein kurzes Rohr *r* befestigt ist; darin befindet sich ein zweites Rohr *m*, welches durch einen Trieb mit dem geränderten Knopfe *n* auf- und niederbewegt werden kann. In das innere Rohr wird dann die oben beschriebene Mikroskopröhre *i* geschoben. Als Fussstück für den Stamm benutzt Nachet entweder eine schwere, länglich viereckige Messingplatte, oder einen Dreifuss aus drei gleichen Klauen *ggg*, an deren Vereinigung der Stamm befindlich ist, der sich darauf um eine Axe dreht.

Neuerer Zeit indessen liefert Nachet diese Art von Mikroskopen nicht mehr. Seine jetzigen sind zwar im Allgemeinen nach dem nämlichen Modelle verfertigt, die Bildumkehrung aber wird durch das alsbald zu erwähnende Ocularprisma zu Stande gebracht.

Als ein Mittel zur Bildumkehrung im zusammengesetzten Mikroskope bezeichnete ich im Jahre 1848 in dieser Schrift auch zwei rechtwinkelige Prismen, die so über einander gestellt würden, dass die Hypothenusenflächen mit der Axe des Mikroskopes parallel sind, und die Reflexionsfläche des einen Prisma auf jener des andern Prisma senkrecht steht. Dadurch kämen zwei halbe Umkehrungen zu Stande, und schliesslich befände sich das Bild wiederum ganz in der nämlichen Richtung wie das Object. Nur sprach ich damals die Besorgniss aus, es möge eine solche Combination wegen des schiefen Einfalls der Strahlen zu wenig Licht durchlassen. Diese Besorgniss hat sich indessen späterhin als grundlos erwiesen. Dove (Poggend. *Annal.* Bd. 83, S. 189) hat beim terrestrischen Oculare für

Fernrohre mit Erfolg von dieser Einrichtung Gebrauch gemacht, und somit wird eine derartige Combination auch für Mikroskope anwendbar sein.



Fig. 111.

Nachet's bildumkehrendes Mikroskop.

Nur ist es vorzuziehen, über das rechtwinkelige Prisma ein Prisma von solcher Form zu bringen, dass die Strahlen unter einem Winkel von 30°

Digitized by Google

bis 40° zur Mikroskopaxe heraustreten. Die Haltung des Kopfes ist dann eine bequemere.

Besser noch als die Verbindung zweier solcher Prismen eignet sich ein einzelnes Prisma, womit die Bildumkehrung durch wiederholte innere Reflexion bewirkt wird. Ein solches Prisma, das nur über das Ocular zu kommen brauchte, wenn alle Objecte in der richtigen Stellung sichtbar sein sollten, hat Amici 1856 angegeben. Wegen der Kleinheit des Gesichtsfeldes nahm weiterhin Nachet darin eine Aenderung vor, dass er das Prisma mit dem Oculare vereinigte (I, S. 218). In Fig. 112 sehen wir das letztgenannte Prisma in seiner Hülse. Aus der Abbildung erhellet, dass in geneigter Stellung hindurch gesehen wird, was beim Präpariren unter dem Mikroskope vortheilhaft ist.

Fig. 112.



Nachet's bildumkehrendes Prisma.

Das erstere Prisma liefert Nachet um 25 Francs, das zweite um 35 Francs.

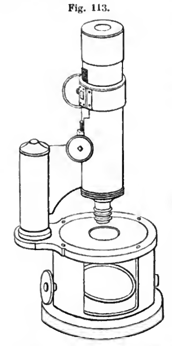
Ein ferneres Mittel zur Bildumkehrung bietet sich darin, dass man statt eines Objectives deren zwei nimmt und diese in solche Entfernung von einander bringt, wobei das vom unteren erzeugte Bild durch das obere vergrössert sich darstellt. Diese Methode, in Verbindung mit einer gewisse Grenzen einhaltenden Veränderlichkeit des wechselseitigen Abstandes beider Objective, hat man in der letzten Zeit auf dem Continente vorzugsweise in Anwendung gezogen.

Die erste Idee dazu ist von Strauss-Durckheim (*Traité pratique et théorique d'Anatomie comparée.* I, p. 81) ausgegangen. Er theilte seine Ansicht Trécourt und Oberhäuser mit, und im Jahre 1839 legte Letzterer der französischen Akademie ein nach diesem Principe verfertigtes sogenanntes *Microscope à dissection* vor (*Comptes rendus.* 1839. IX, p. 322). Bei diesem Mikroskope liessen sich die beiden Objective durch einen Trieb weiter von einander entfernen oder einander mehr nähern. Die Vergrösserung konnte von 0 bis 500 gehen. Bei der stärksten Vergrösserung blieb das untere Objectiv immer noch 4 Millimeter vom Objecte entfernt. Bei einer 150maligen Vergrösserung blieb noch ein Object von 0,2 Millimeter Durchmesser im Gesichtsfelde, und bei einer 2maligen Vergrösserung ein solches von 40 Millimeter Durchmesser. Dieses Oberhäuser'sche Dissectionsmikroskop (Fig. 113 a. f. S.) hat ganz das nämliche Gestell, wie seine grossen Mikroskope älteren Modells. Nur schiebt sich in dem äussern Rohre ein inneres auf und nieder mittelst eines Triebes, wodurch die Veränderung im Abstande der beiden Objective und somit auch die veränderliche Vergrösserung zu Stande kommt.

Digitized by Google

Betrachten wir diese Einrichtung näher, so sehen wir, dass der Gang der Strahlen im Körper des Mikroskopes eigentlich nicht anders ist, als bei den viele Jahre früher in England gebräuchlichen Instrumenten. Die Verbesserung von Trécourt und Oberhäuser lag aber darin, dass sie als bildumkehrendes Glas ebenfalls eine achromatische Linse benutzten, die ausserdem auch einen kürzern Focus hatte. Dadurch nahm zuvörderst die Deutlichkeit und Schärfe des Bildes zu und es wurde zweitens auch möglich, eine grössere Breite der möglichen Vergrösserungen zu erzielen.

Fig. 113.



Bildumkehrendes oder pankratisches Mikroskop von Oberhäuser.

Ihr Beispiel fand auch bald Nachahmung. Im Jahre 1841 beschrieb Fischer von Waldheim (*Le Microscope pancratique.* Moscou, 1841) ein von Chevalier verfertigtes Instrument als *Microscope pancratique*, dessen Einrichtung durchaus auf dem nämlichen Principe ruht. Wir hören ferner aus dem Jahre 1843, dass Plössl (*Versammlung d. D. Naturf. in Gratz*, Sitzung v. 20. Sept.) ein zusammengesetztes bildumkehrendes Mikroskop verfertigt hatte, zu dessen Verbesserung Dr. Fenzl beigetragen haben sollte. Dieses bildumkehrende Mikroskop Plössl's (abgebildet in Fig. 94 S. 183) hat das gewöhnliche Ocular des Fernrohres für irdische Objecte, und in der Schärfe des Bildes soll es nach Mohl (*Mikrographie* S. 225) den Vorzug vor Oberhäuser haben. Wirklich sind auch die früheren Dissectionsmikroskope des Letzteren in dieser Beziehung sehr unvollkommen, wie ich mich durch die Untersuchung eines solchen vom Jahre 1841 überzeugt habe. Daran ist meines Erachtens Schuld, dass Oberhäuser zu starke Objective nahm; das verschaffte zwar eine grössere Breite im vergrössernden Vermögen, aber nur auf Kosten der Aberrationsverbesserung, was er später auch selbst eingesehen hat. Bei einem Instrumente aus dem Jahre 1846, worüber Mohl einen günstigen Bericht giebt, ist die schwächste Vergrösserung nur eine 6fache bei 70 Millimeter Abstand vom Objecte und einem Gesichtsfelde von 15,4 Millimeter Durchmesser, und die stärkste Vergrösserung geht nur bis 68 bei 14 Millimeter Abstand vom Objecte, wovon dann nur noch gut 1 Millimeter übersehen werden kann. Bei

Digitized by Google

diesem Instrumente ist Oberhäuser auch von seiner früheren Einrichtung abgewichen und hat ein Ocular für irdische Objecte genommen. Davon rührt wahrscheinlich die grosse Länge des Rohrs her: bei 6facher Vergrösserung steht das Ocular 23,6 Centimeter über dem Tische, bei 36facher 25 Centimeter, bei 78facher 32,5 Centimeter.

Soll ich über die beim zusammengesetzten Mikroskope jetzt gebräuchlichen Mittel zur Bildumkehrung mein Urtheil abgeben, so würde dies darauf hinauslaufen, dass zwei von den befolgten Methoden, nämlich die Benutzung reflectirender Prismen und das Einschieben eines zweiten achromatischen Objectives in die Bahn der Strahlen recht gute Resultate geben, wovon ich mich durch bestimmte Vergleichung also eingerichteter Instrumente überzeugt habe. Wird die Umkehrung ins Ocular verlegt, dann sind die Bilder nicht so bestimmt; in den meisten Fällen indessen, wo es blos auf Zergliederung ankommt, kann man auch damit auskommen.

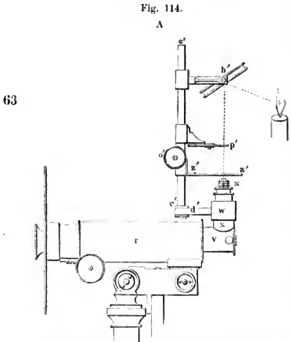
Wie auch die Bildumkehrung zu Stande gebracht wird, ich kann nur wiederholen, dass besonders dazu eingerichtete Dissectionsmikroskope überflüssig sind. Dagegen erachte ich es für wünschenswerth, die zusammengesetzten Mikroskope fortan so einzurichten, dass sie der Beobachter, wenn er will, vorübergehend in bildumkehrende verwandeln kann. In England ist dies allgemein gebräuchlich. Die auf dem Continente von Oberhäuser, Nachet und Anderen gebotenen Mittel verdienen aber unzweifelhaft den Vorzug vor dem nichtachromatischen *erecting glass*. Bequem und einfach ist das Amici'sche Prisma, noch mehr das verbesserte Nachet'sche Prisma. Ist ein solches so sorgsam gearbeitet, wie es Nachet liefert, so ist das Bild eben so frei von achromatischer Aberration, als wenn man durch ein gewöhnliches Ocular sieht. Indessen gleich vortheilhaft und dabei etwas billiger ist es, wenn man ein achromatisches Linsensystem in die Bahn der Strahlen bringt, wo man auch die Vergrösserung innerhalb gewisser Grenzen vermehren und vermindern kann. Nur muss das Mikroskop so eingerichtet sein, dass dieses System am unteren Ende eines Rohres, welches in einem weiteren Rohre sich auf- und niederbewegt, angesetzt und mit Leichtigkeit wieder weggenommen werden kann. Diese Einrichtung habe ich bei zweien meiner Mikroskope, die im täglichen Gebrauche sind. Auf meine Veranlassung fügt Nachet jetzt, wenn es verlangt wird, seinen Mikroskopen ebenfalls ein hierzu dienendes System bei.

Natürlich ist dies nur bei solchen Mikroskopen mit einigem Vortheile anzubringen, die nicht zu hoch sind. Deshalb geht es nicht bei den grossen Mikroskopen von Plössl, Schiek, Ross, Powell u. s. w., weil es zur Vornahme von Zergliederungen auf dem Objecttische durchaus nöthig ist, dass man sitzend arbeitet, was aber wohl den Meisten schwer

Digitized by Google

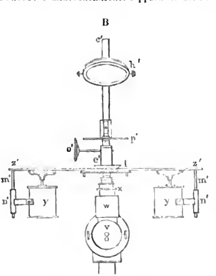
Fig. 114.

A



Chevalier's mikrochemischer Apparat in der Seitenansicht.

B



Derselbe von vorn gesehen.

fällt, wenn die Höhe des ganzen Instruments vom Ocular bis zum Tische mehr als 30 Centimeter beträgt.

63 Es ist hier auch der Ort, einer modificirten Einrichtung des zusammengesetzten Mikroskopes zu gedenken, die für manche Untersuchungen sehr erspriesslich sein kann, nämlich der Aufwärtskehrung des Objectivs. Ein solches **umgekehrtes Mikroskop** (*Microscopium inversum*), wie man es nennen könnte, und zwar ausdrücklich zu mikrochemischen Untersuchungen bestimmt, wurde zuerst schon vor vielen Jahren von Chevalier angefertigt. Die Einrichtung wurde mit Chevalier's horizontalem Mikroskope (S. 142 Fig. 78) in Verbindung gebracht, woran die Röhre *v*, welche das reflectirende Prisma enthält, zugleich mit dem Objective *x* umgedreht werden kann, so dass das letztere nun nach oben sieht. Die weitere Einrichtung erhellt aus Fig. 114, wo die Buchstaben in A und B die nämlichen Theile bezeichnen. Auf das Objectivrohr *x* passt der Ring *w*,

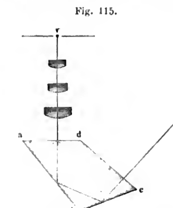
der durch den Querarm *d'* mit der vierseitigen Stange *c'c'* in Verbindung steht. An dieser Stange bewegt sich durch einen mit dem Knopfe *o'* versehenen Trieb der länglich vierseitige Objecttisch *z'z'*. Einander gegenüber sind am Objecttische die beiden kleinen Weingeistlampen *y y* befestigt, indem sie durch die Hülsen *n'n'* um die runden Stifte *m'm'* sich drehen. Die Mitte des Objecttisches hat eine runde Oeffnung für das Uhrglas *l*, in welches eine erwärmte Flüssigkeit kommen kann. Die Beleuchtung findet durch den Spiegel *h'* und das drehbare Diaphragma *p'* statt.

Dieses chemische Mikroskop Chevalier's ist aber niemals recht in Gebrauch gekommen, hauptsächlich wohl wegen der grossen Entfernung des Objecttisches vom Oculare, wodurch es in der That schwer fällt, gleichzeitig durchs Mikroskop zu sehen und das höher liegende Object mit den nicht unterstützten Armen zu bewegen. Der amerikanische Professor Lawrence Smith (*American Journ.* 1852. XIV, p. 232) hat aber dieses Mikroskop durch Nachet dergestalt umändern lassen, dass zwar die zu Grunde liegende wesentliche Idee nicht aufgegeben, das Instrument aber praktisch weit brauchbarer wurde. Die hauptsächlichste Veränderung besteht in der Form des Prisma, welches in Fig. 115 (a.f.S.) dargestellt ist. In diesem Prisma findet eine doppelte Reflexion statt, wodurch die Strahlen in eine Richtung kommen, bei welcher der Kopf die bequemste Stellung haben kann, und wobei auch die Hände, ganz so wie beim gewöhnlichen Mikroskope, zur Behaudlnng der Objecte auf dem Objecttische benutzt werden können. Smith hat folgende Winkel an sein Prisma schleifen lasseu: $a = 55^0$, $b = 107^1/_2{}^0$, $c = 52^1/_2{}^0$, $d = 145^0$. Die Axe des reflectirten Strahlenbündels bildet dann einen Winkel von 35^0 mit der Senkrechten. Es versteht sich aber von selbst, dass dieser Winkel etwas grösser oder kleiner ausfallen kann, wenn man dem Prisma eine etwas andere Gestalt giebt.

Das Mikroskop, wie es Nachet hergestellt hat, ist in Fig. 116 (a. f. S.) dargestellt. Das Kästchen *ab*, worin das Prisma enthalten ist, hat seine Befestigung auf einem Schlitten, der sich zwischen zwei Leisten hin- und herbewegt, so zwar, dass beim Ziehen am Knopfe *c* das Kästchen mit dem darauf befestigten Objectivrohre nach vorn und zur Seite des Objecttisches zu stehen kommt, worauf dann das Objectiv, welches bei *d* aufgeschraubt wird, ohne Mühe mit einem anderen vertauscht werden kann. Zur gröberen Einstellung dient das Röhrchen *e*; dasselbe trägt das Objectiv und lässt sich auf einem im Inneren befindlichen Röhrchen auf- und niederschieben. Die feinere Einstellung erfolgt durch das Umdrehen einer Schraube mittelst des gerieften Randes bei *f*. Der Objecttisch, welcher durch einen festen kurzen Stamm mit dem runden Fussstücke fest und unbeweglich verbunden ist, hat eine runde Gestalt und ist unbeweglich. Auf diesen Tisch kann eine zweite freiliegende Platte *g*

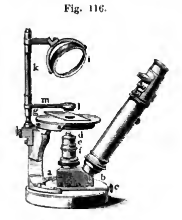
kommen, mit einer Oeffnung in der Mitte, über welche ein kurzes Rohr hinausragt, das in die Oeffnung des ersten oder eigentlichen Objecttische

Fig. 115.



Smith's Prisma zum umgekehrten Mikroskope.

Fig. 116.



Nachet's umgekehrtes Mikroskop.

passt. Dieser freie Objecttisch ist länglich vierseitig und so lang, dass er den Rand des ersteren etwas überragt. Man kann so unter den nach aussen überragenden Theil eine kleine Spirituslampe bringen, die zum Ganzen gehört und an einer Stange, welche auf einem besondern Fussstücke ruht, höher und niedriger gestellt werden kann. Der Beleuchtungsapparat besteht zuvörderst aus einem nach allen Seiten beweglichen Spiegel *i*, der an der runden Stange *k* auf- und niedergleitet, und zweitens aus einem deckelförmigen mit einer kleinen Oeffnung versehenen Diaphragma *l*, welches von dem Arme *m* getragen wird, der, gleich dem Spiegel, um die runde Stange *k* sich dreht, so dass er höher oder tiefer gestellt, oder auch ganz zur Seite gedreht werden kann.

Dieses Mikroskop mit vier Objectivsystemen Nr. 0, 1, 3 und 5, einem Oculare, einem beweglichen Glasmikrometer im Oculare und einem sehr einfachen Goniometer, kostet 350 Francs.

Ohne Zweifel wird manchem Jünger der Wissenschaft mit diesem Mikroskope ein wesentlicher Dienst geleistet. Freilich können die meisten mikrochemischen Reactionen auch unter einem gewöhnlichen Mikroskope vorgenommen werden, wenn man nur hinlänglich grosse Deckplättchen nimmt; doch ist es weit sicherer, namentlich wenn verdunstende Säuren im Spiele sind, man benutzt dazu das umgekehrte Mikroskop, weil die Objective dann niemals der Gefahr ausgesetzt sind, angegriffen zu werden. Das umgekehrte Mikroskop bietet aber ausserdem noch einen vielseitigeren Nutzen: der Gebrauch von Deckplättchen wird dabei überflüssig, ausgenommen wenn man diese blos dazu benutzt, das Object flach

Digitized by Google

auszubreiten. Nun giebt es mancherlei Beobachtungen, wo die Verwendung von Deckplättchen, die wenigstens bei etwas stärkeren Vergrösserungen nicht entbehrt werden können, sehr störend ist. Man hat etwa ein anatomisches Object mit Nadeln zerzasert und mit einem Deckplättchen bedeckt unters Mikroskop gebracht, und findet nun, dass die Zerzaserung nicht ausreichend gewesen ist, oder dass in Folge des aufliegenden Deckplättchens jene Theile, die man besonders zu sehen wünscht, von anderen verdeckt werden. In einem solchen Falle ist man genöthigt, das Deckplättchen wieder wegzunehmen, die Theile von Neuem bloss zu legen und dies wohl mehrmals zu wiederholen, bis das Präparat deutlich und klar wird. Dieser Mühe ist man beim umgekehrten Mikroskope überhoben; man kann dann so lange an dem Präparate arbeiten, bis es ganz vorbereitet ist. Man könnte auch an der Stange, welche den Spiegel trägt, eine Lupe anbringen, die an einem kurzen Arme an der Stange sich auf- und niederschieben und auch zur Seite drehen lässt, um sie allenfalls über das Object zu schieben und unter ihr die nöthigen Handgriffe auszuführen.

Aus dem nämlichen Grunde bewährt sich dieses Mikroskop auch nützlich beim Untersuchen der Entwickelung vegetabilischer wie animalischer Organismen, wie Süsswasseralgen, Infusorien, Molluskeneier u. s. w., die nicht gut einen Druck vertragen und wo doch der Luftzutritt nöthig ist. Will man z. B. den einen oder den andern organischen Entwickelungsprocess während einiger Stunden oder selbst Tage verfolgen, so kann man mit etwas geschmolzenem Wachse oder mit einem Gemenge von Wachs und Terpentin ein Glastäfelchen über die Oeffnung des Objecttisches befestigen, und auf dieses, oder noch besser auf ein besonderes Glastäfelchen, oder bei verhältnissmässiger Grösse in einen kleinen Glas- oder Guttaperchatrog den zu untersuchenden Körper mit Wasser bringen. Bedeckt man dann das Ganze mit einem zwei bis drei Centimeter hohen Ringe von Blech oder Messing, schliesst diesen oben hermetisch durch eine gerade Glasplatte, und klebt den etwas breiteren unteren Rand mit einem Gemenge von Wachs und Terpentin auf den Objecttisch, dann kann die Flüssigkeit nicht verdunsten, zumal wenn die Innenfläche des Ringes vor dem Aufsetzen auf die Glasplatte noch mit Wasser befeuchtet wurde. Um das Anlegen des Wasserdunstes an die gläserne Decke zu verhindern, ist es gut, wenn man diese Glasplatte vorher mit etwas Oel bestreicht.

Für diese Zwecke namentlich habe ich ein solches Instrument, dessen ich mich seit einigen Jahren bediene, sehr vortheilhaft gefunden und gebe ich ihm hierbei vor anderen Mikroskopen den Vorzug.

Gegenüber diesen Vorzügen giebt es freilich auch einige Punkte, worin ein solches umgekehrtes Mikroskop dem gewöhnlichen Mikroskope nachsteht. Zuvörderst ist das Prisma, wie vortrefflich es auch geschliffen

sein mag, als feststehender Bestandtheil des Mikroskopes dennoch zu verwerfen, weil es dessen optischem Vermögen immer einigen Eintrag thut. Zweitens ist es immer viel schwieriger, die Beleuchtung, die bei dieser Einrichtung von oben her stattfindet, zu reguliren, als wenn der Beleuchtungsapparat unter den Objecttisch kommt; dies rührt aber besonders davon her, dass das Object nicht blos durch den Spiegel, sondern von allen Seiten her Licht empfängt, dass somit die sehr schief auffallenden Strahlen im Objecte gebrochen und reflectirt werden, wodurch das ganze Bild etwas Nebliges und Undeutliches bekommt. Diesem Uebelstande wird durch das oben erwähnte deckelförmige Diaphragma begegnet, und es muss dasselbe deshalb ganz dicht über das Object kommen, damit die von der Seite einfallenden Strahlen möglichst ausgeschlossen werden. Bemerken muss ich indessen, dass jene Beleuchtung in manchen Fällen, zumal wenn schief einfallendes Licht erforderlich ist, sehr vortheilhaft wirkt. Sehr schwierige Probeobjecte, an denen die Strichelchen bei schief von unten einfallendem Lichte sehr schwierig wahrzunehmen sind, erkennt man recht deutlich, wenn der Spiegel sowohl als das Diaphragma eine schiefe Stellung bekommen. Als dritter Uebelstand dieser Einrichtung des umgekehrten Mikroskopes ist der Umstand anzuführen, dass man, wenn das stärkste Objectiv Nr. 5 genommen wird, das Objectiv nicht auf ein Glastäfelchen von gewöhnlicher Dicke legen darf, sondern hierzu so dünnes Glas nehmen muss, wie es sonst nur zu Deckgläschen verwendet wird. Als die grösste Unvollkommenheit dieses Mikroskops sehe ich es aber endlich an, dass es in seinem gegenwärtigen Zustande zur Beobachtung von Objecten bei auffallendem Lichte sich nicht eignet. Möglich ist es indessen, durch passend angebrachte spiegelnde Oberflächen dieser Unvollkommenheit theilweise wenigstens abzuhelfen.

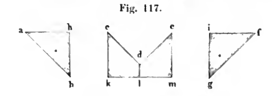
Im nämlichen Jahre 1850, wo Nachet für Lawrence Smith das oben beschriebene Mikroskop verfertigte, kam Dr. Leeson in London, wie es scheint ganz unabhängig von jenem, auf dieselbe Idee, und nach seiner Anweisung verfertigten damals Smith u. Beck ein solches umgekehrtes Mikroskop, das sich vom Nachet'schen nur darin unterscheidet, dass sein Objecttisch sich höher und niedriger stellen lässt. Die erste Nachricht davon gab aber erst sechs Jahre später Highley (*Quart. Journ.* July, 1856. Nr. XVI, p. 280), der bei dieser Gelegenheit zugleich die Beschreibung und Abbildung eines mineralogischen Mikroskopes gab, das in der Hauptsache gleiche Einrichtung hat als das umgekehrte Mikroskop, ausserdem aber einen um zwei Axen beweglichen Objecttisch besitzt mit zwei entsprechenden eingetheilten Kreisen, um die Neigungswinkel von Krystallflächen messen zu können, und im Ocnlare ein Turmalin- und ein Kalkspathblättchen enthält, damit es statt Kobell's Stauroskop benutzt werden kann; wie denn auch noch andere Apparate für krystallographische Untersuchungen dazu kommen.

Arthur Chevalier liefert jetzt auch derartige Mikroskope, die sich blos darin von den Nachet'schen unterscheiden, dass die einfache Blendung durch eine drehbare Scheibe mit verschieden grossen Oeffnungen ersetzt wird, und dass diese Scheibe durchs Drehen eines Knopfes höher oder tiefer gestellt werden kann. Das scheint mir eine Verbesserung zu sein.

Weiter oben (§. 43) ist bereits einiger Versuche gedacht worden, die 64
schon in die erste Zeit nach Erfindung des zusammengesetzten Mikroskopes fallen, um dasselbe in ein binoculäres umzuwandeln. Der damals eingeschlagene Weg, dass man zwei einzelne Mikroskope vereinigte und beide auf das nämliche Object richtete, schien jedoch nicht zu dem beabsichtigten Ziele führen zu können und man stand deshalb weiterbin davon ab. In neuerer Zeit sind aber diese Versuche wiederum aufgegenommen worden. Ueber die Theorie der multoculären Mikroskope ist früber (I, §. 186 flg.) in einem besonderen Kapitel gehandelt worden, wo auch das Nähere über einige der jetzt folgenden Einrichtungen nachzusehen ist.

Dem Nordamerikaner Professor Riddell (*American Journ.* 1853. June p. 266) gebührt das Verdienst, zuerst den wahren Weg angegeben zu haben, den man zur Erreichung dieses Zieles einzuschlagen hat. Er brachte vier rechtwinkelige Prismen in der Stellung, wie in Fig. 117,

Fig. 117.



Riddell's vier Glasprismen.

über das Objectiv und erreichte dadurch eine Spaltung des Strahlenkegels in zwei Bündel, deren jedes durch ein besonderes Ocular aufgefangen werden kann, um mit beiden Augen zugleich auf das nämliche Object zu schauen.

Sobald ich von diesem neuen Verfahren Kenntniss erhalten hatte, schrieb ich an Nachet und schlug ihm vor, er sollte eine kleine Veränderung im Riddell'schen Apparate vornehmen, nämlich die beiden äusseren Prismen weiter von den mittleren entfernen und dadurch ein Mikroskop herstellen, womit zwei Beobachter auf Einmal das nämliche Object sehen könnten, was mir eine vortheilhaftere Verwerthung des zu Grunde liegenden Princips zu sein schien, als wenn man nur an die Herstellung eines stereoskopischen Mikroskopes dächte, von dem ich weit weniger Nutzen erwartete. Ich empfing bald die Antwort von Nachet, dass

Digitized by Google

ihm Riddell's Verfahren ebenfalls bekannt geworden sei und dass er auch sogleich eingesehen habe, es werde sich so ein Mikroskop für zwei Beobachter herstellen lassen; er sei aber Willens, dies auf etwas andere Weise zur Ausführung zu bringen. Wirklich brachte Nachet im folgenden Jahre seine binocnlären Mikroskope für einen Beobachter sowohl wie für zwei Personen zu Stande, denen etwas später sein trioculäres Mikroskop nachfolgte. In diesen verschiedenen Instrumenten wnrde die Spaltung der Strahlenbündel nicht durch rechtwinkelige, sondern durch gleichseitig dreieckige Prismen bewirkt.

Im nämlichen Jahre, wo Riddell seine Methode ersonnen und veröffentlicht hatte, beschäftigte sich auch Wenham in England mit der Lösung dieser Frage, und suchte auf dioptrischem Wege zum Ziele zu kommen. Wenham, obwohl nicht Mechanikus von Bernf, war doch im Verfertigen optischer Instrumente nicht ganz ungeübt; er vereinigte zwei Kronglasprismen und ein Flintglasprisma mit einander, nnd erzielte so eine Spaltung der Strahlenbündel dnrch Brechung in gleicher Weise, wie durch die reflectirenden Prismen. Ueber seine interessanten Versuche gab Wenham im *Quart. Journ.* 1853. Oct. V. *Transact.* p. 10 Nachricht. Einige Jahre darauf beschrieb aber Wenham (*Quart. Journ.* 1860. XXXII. *Transact.* p. 154) eine verbesserte Einrichtung, wodurch die vorher bestehende Pseudoskopie aufgehoben wurde. Indessen schon im nächsten Jahre (*Quart. Journ.* 1861. N. Ser. I, p. 15) liess er das dioptrische Princip ganz fallen, und erfand das katadioptrische binoculäre oder stereoskopische Mikroskop, welches bald grossen Beifall erwarb. Endlich verlegte R. B. Tolles (*American Journ.* 1865. p. 212) die Spaltung des Strahlenbündels ins Ocular.

Es versteht sich von selbst, dass die Spaltung der Strahlenbündel auch für die Lupe oder für das einfache Mikroskop nutzbar gemacht werden kann, und gerade hierzu hat Riddell (*Quart. Journ.* Oct. 1853. Nr. V, p. 18) die Vereinigung der vier rechtwinkeligen Prismen empfohlen. Er hat ein derartiges zu Zergliederungen bestimmtes Instrument zu Stande gebracht mit Linsen von $^1/_2$ Zoll bis zu 3 Zoll Breunweite, womit er auch die S. 226 erwähnte Pumpeinrichtung zum feinen Einstellen in Verbindung setzte. Späterhin haben Nachet und R. Beck die binoculäre Einrichtung auch fürs einfache Mikroskop in Anwendnng gebracht.

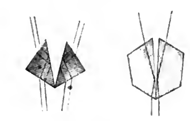
Riddell hat ferner vorgeschlagen, bei Lupen mit ziemlich grossem Focus, wie sie Künstler und Naturforscher brauchen, statt der Prismen kleine Glasspiegel zu benutzen und diese etwa ähnlich wie an Parallellinealen zu befestigen, die Linse aber unterhalb in die Mitte zn bringen, so dass sich der ganze Apparat wie eine Brille auf der Nase tragen liesse. Das zweite Spiegelbild, meint er, werde hier nicht schaden, weil es zu schwach ist.

Riddell fand, dass ein zusammengesetztes binoculäres Mikroskop,

Digitized by Google

worin sich die Strahlenbündel durch vier rechtwinkelige Prismen spalten, pseudoskopische Bilder giebt, indem die Vertiefungen erhöht und die Erhöhungen vertieft erscheinen. Er gab deshalb der Einrichtung den Vorzug, dass blos zwei rechtwinkelige Prismen mit spitzen Winkeln von 45° genommen und wie in Fig 118 neben einander gestellt werden, wo dann die Axen der Strahlenbündel, die von den Hypothenusenflächen reflectirt werden, zusammen einen spitzen Winkel bilden. Jenachdem die Prismen, während ihre unteren Kanten in Berührung bleiben, mehr oder weniger weit auseinander gerückt werden, wird jener Winkel ein grösserer oder kleinerer.

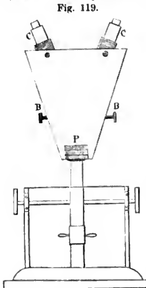
Fig. 118.



Stellung zweier rechtwinkeliger Prismen behufs der Strahlenbündelspaltung nach Riddell.

Im Umriss ist dieses binoculäre Mikroskop in Fig. 119 dargestellt. Die beiden Prismen befinden sich am Boden einer dreieckigen Röhre von Messingblech, die auf dem Durchschnitte länglich vierseitig ist. Befestigt ist diese Röhre an einem (in der Figur nicht sichtbaren) Arme, der bei P eine halbe Umdrehung hat, damit die Objective leichter gewechselt werden können. Bei CC sieht man zwei Ocularröhren, die an Axen hängen, um ihre Neigung abändern zu können, und die auch in horizontaler Richtung sich verschieben, damit ihre wechselseitige Distanz jener der Augen verschiedener Beobachter entsprechend genommen werde. BB sind die geränderten Knöpfe von Schrauben, wodurch die wechselseitige Neigung der Prismen modificirt wird. Endlich kann man noch über jedes Ocular ein kleines rechtwinkeliges Prisma dergestalt bringen, dass die halbe Umkehrung des Bildes, welche durch die ersten Prismen zu Stande kam, dadurch eine vollständige wird, das gesammte Bild sich also in der richtigen Stellung zeigt.

Fig. 119.



Riddell's binoculäres Mikroskop.

Nach Riddell sollen die Wirkungen eines solchen Instrumentes stauneuerregend sein, wenn man die Neigungswinkel der Oculare und der Prismen ver-

ändert und den verschiedenen Convergenzwinkeln der Augenaxen anpasst. „Bei einer gewissen Stellnng," sagt er, „wird man z. B. eine Milbe oder ein Räderthierchen einen Fnss entfernt und so gross wie eine Maus sehen; bringt man aber die beiden Prismen näher aneinander und entsprechen die beiden Oculare der veränderten Stellung, dann wächst das Bild auf wunderbare Weise, es scheint mehrere hundert Fuss entfernt zu sein und wetteifert in Grösse mit dem Wallfische u. s. w."

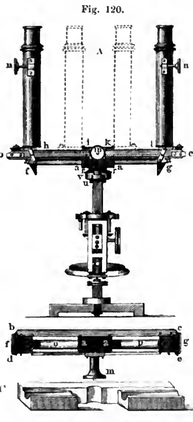
Es mag dahin gestellt bleiben, ob nicht an dieser Schilderung eine amerikanische Uebertreibung Theil gehabt hat. Dass die scheinbare Vergrösserung auch beim monoculären Mikroskope ganz von der Entfernung der Fläche abhängig ist, auf welche das Bild projicirt wird, hat seine vollkommene Richtigkeit und wurde auch oben (I, §. 218) durchs Experiment dargethan. Dass aber dieses binoculäre Mikroskop je nach der verschiedenen Convergenz der Augenaxen die Vergrösserung um 200 bis 300 Mal vermehren könne, das finde ich zum mindesten sehr zweifelhaft, wenn auch hierbei viel auf die Eigenthümlichkeit der Augen des Beobachters ankommt, und dasjenige, was der eine gesehen haben will, sich dem andern nicht eben so darzustellen braucht. Sicherlich nimmt aber nur die **scheinbare** Vergrösserung zu, und in dem Räderthierchen, welches so gross wie ein Wallfisch ist, würde man nicht mehr sehen, als wenn es die Grösse einer Maus zu haben scheint.

Riddell scheint nicht darauf gekommen zu sein, seine Erfindung auch für ein binoculäres Mikroskop für zwei Beobachter zu verwerthen. Dieser Gedanke lag aber ganz nahe, und ich habe 1858 den schon früher gehegten Plan zu einem solchen Mikroskope wirklich ausgeführt, dieses selbst aber so einrichten lassen, dass es eben so gut als einfaches Mikroskop wie als zusammengesetztes stereoskopisches Mikroskop zu benutzen ist. Auch schien es mir wichtig, die Einrichtung so zu treffen, dass sie dem gewöhnlichen monoculären Mikroskope zugefügt werden kann. Die meisten Mikroskopgestelle, deren Mikroskoprohr in einem weiteren Rohre gleitet, welches durch einen Arm mit dem Stamme zusammenhängt, eignen sich nicht hierzu; dagegen passt das **Amici**'sche Mikroskopgestell, zumal wenn es einen schwereren Fuss bekommt. Dieses Mikroskop nun, wie es mir der Instrumentenmacher **Olland** in Utrecht hergestellt hat, ist Fig. 120 von hinten dargestellt; der das gewöhnliche Ocularrohr des **Amici**'schen Mikroskopes ersetzende Apparat lässt sich an dem mit dem Arme *u* zusammenhängenden Ringe *v* an- und abschrauben. Der Fuss, die Stange, der Objecttisch mit den Mitteln zur groben und zur feinen Einstellnng, desgleichen der Beleuchtungsapparat gehören dem **Amici**'schen Mikroskope (S. 169, Fig. 89) an.

Ueber dem Objective befinden sich die zwei mittleren rechtwinkeligen Prismen der Fig. 117 und die beiden anderen Prismen können diesen genähert oder weiter davon entfernt werden. Dazu dient die Ein-

richtung, welche man in Fig. 120 bei *B* von oben dargestellt sieht. Das Kästchen *aa* nämlich umschliesst die feststehenden Prismen und hat unten um die Oeffnung einen Ring *rr* mit einem Schraubengange, um es auf den Arm des Instrumentes befestigen zu können; ausserdem ist es mit dem Rahmen *bcde* verbunden, woran die beiden Kästchen *f* und *g* schlittenartig hin- und hergleiten. Zum Zwecke dieser Bewegung sind zwei gezahnte Stangen *hi* und *kl* damit verbunden, in welche ein Trieb greift, zu dem der geränderte Knopf *m* gehörig ist. Da diese Stangen in entgegengesetzter Richtung über einander gleiten, so kommen die Prismen einander näher, wenn der Knopf in der einen Richtung umgedreht wird, und durch Umdrehen in entgegengesetzter Richtung entfernen sie sich von einander. Auf diese beweglichen Kästchen sind die Oculare geschraubt, die zwei in einander verschiebbare Röhren enthalten, damit die Entfernung des Oculares gemäss dem Zustande der verschiedenen Augen modificirt werden kann. Das geschieht aber durch einen Trieb, wozu der bei *n* sichtbare geränderte Knopf gehört.

Fig. 120.



Harting's binoculäres Mikroskop.

Soll das Instrument als einfaches oder als zusammengesetztes stereoskopisches Mikroskop dienen, dann werden die beiden seitlichen Prismen einander so weit genähert, dass man mit beiden Augen zugleich sehen kann, wo dann die Ocularröhren etwa die Stellung haben, welche in der Figur durch die punktirten Linien angegeben ist.

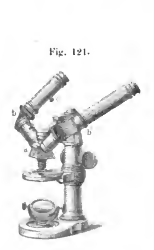
Sollen hingegen zwei Personen gleichzeitig zur Beobachtung kommen, dann werden die Prismen mit den Ocularröhren bis an die beiden Enden des Rahmens gebracht, und die Oculare stehen dann 20 Centimeter von einander ab. Bei dieser Stellung müssen jedoch zwischen den beiderseitigen Prismen die Röhren *o* und *p* eingeschoben werden, um das von aussen einfallende Licht abzuhalten. Zu diesem Ende kommen die beiden Röhren in die Höhlung eines rinnenförmigen Stückes Holz *C*,

Digitized by Google

welches vorn einen Ausschnitt für den mittleren Theil hat. Man hält das Stück Holz mit den Röhren in einer Hand, bringt diese auf den für sie bestimmten Platz, dreht dann den Knopf *m* mit der anderen Hand um und nähert dadurch die Prismen einander, dass sie an die Röhren anschliessen.

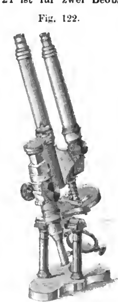
Wie erwähnt, liefert Nachet ebenfalls binoculäre Mikroskope, sowohl solche für zwei Personen bestimmt, als auch stereoskopische für beide Augen der nämlichen Person. Ihre optische Einrichtung ist oben (I, §. 192) beschrieben worden. Was die mechanische Einrichtung anbelangt, so benutzte Nachet zuerst das Gestell mit dem trommelförmigen Fusse. Später ist er aber davon zurückgekommen und seine neueren binoculären Mikroskope haben die in Fig. 121 und 122 abgebildete Einrichtung, deren nähere Beschreibung nach dem früher Mitgetheilten kaum nöthig ist. Das Mikroskop Fig. 121 ist für zwei Beobachter be-

Fig. 121.



Nachet's binoculäres Mikroskop für zwei Beobachter.

Fig. 122.



Nachet's stereoskopisches binoculäres Mikroskop.

stimmt. In dem Kästchen *a* ist das dreieckige Prisma über dem Objective enthalten. Die beiden anderen, wodurch die Strahlen zum zweiten Male reflectirt werden sollen, befinden sich bei *b* und *b'*. Bei *c* ist einer der Knöpfe sichtbar, die zum Einstellen des Oculares bestimmt sind, indem das innerste Rohr hin- und hergeschoben wird. Ein solches Mikroskop, mit den Objectivsystemen Nr. 0, 1 und 3 ausgestattet, kostet 300 Francs.

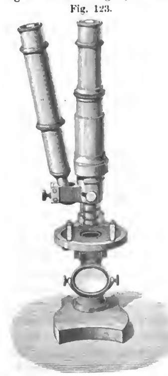
Das stereoskopische Mikroskop neuester Construction mit den näm-

Digitized by Google

lichen drei Linsensystemen (Fig. 122) kostet 500 Francs. Das Näherrücken und Fernerrücken der Prismen wird hier durch einen recht sinnreichen Mechanismus zu Stande gebracht, der sich aber nur schwer in kurze Worte fassen und ohne die Beihülfe mehrerer Abbildungen beschreiben lässt.

Um die Schwierigkeit zu beseitigen, die für viele Personen darin liegt, dass sie die beiden Felder zu Einem Felde vereinigen sollen, und die vorzüglich durch den Umstand herbeigeführt wird, dass beide Röhren senkrecht stehen, also der Convergenz der Augenaxen nicht entsprechen, hat Nachet nach Wheatstone's Rath zwei achromatische Prismen beigegeben, deren jedes die Strahlen 7° von der senkrechten Richtung ablenkt, so dass sie zusammen einem Convergenzwinkel von 14° entsprechen. Diese Prismen sind in passende ringförmige Kästchen eingeschlossen, kommen auf die Oculare und werden darauf herumgedreht, bis sie jene Stellung erlangen, bei welcher die beiden Felder zusammenfallen. Ich kann aus Erfahrung bezeugen, dass durch diese nützliche Zugabe die Vereinigung der Felder sehr erleichtert wird.

Fig. 123.

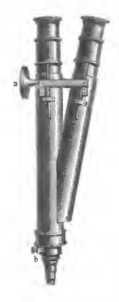


Nachet's Binocularapparat beim gewöhnlichen Mikroskope.

Eine andere Einrichtung hat das binoculäre Mikroskop Nachet's, welches in Fig. 123 dargestellt ist. Die Theorie desselben ist schon früher (I, S. 204) entwickelt worden. In zweierlei Beziehungen empfiehlt sich diese Einrichtung: wird das Prisma, welches in einer Hülse seitlich am unteren Ende des Hauptrohres steckt, anders gestellt, so lässt sich nach Willkür Pseudoskopie herbeiführen oder fortschaffen, und man kann so das Ursächliche dieser Erscheinung demonstriren; wird aber das Prisma ganz weggenommen, so dass es ausserhalb des Hauptrohres kommt, so ist aus dem binoculären Mikroskope auf der Stelle ein gewöhnliches Mikroskop geworden, und umgekehrt durch Vorschieben des Prisma wird letzteres wieder in ein binoculäres umgewandelt. Ein solches Mikroskop liefert Nachet um 350 Francs, und den Binocularapparat allein um 150 Francs. Uebrigens ist diese sonst ganz zweckmässige Einrichtung nur eine Modification

des binoculären Mikroskopes Wenham's (Fig. 124), welches bereits zwei Jahre vorher von diesem erfunden worden war. Das Theoretische darüber ist oben (I, S. 204) ebenfalls mitgetheilt worden. Gegenwärtig bildet es ziemlich allgemein eine Beigabe der grossen englischen Mikroskope.

Fig. 124.



Wenham's Binocularapparat an einem Mikroskope von Powell und Lealand.

Ganz neuerdings hat man für die binoculäre mikroskopische Beobachtung noch ein anderes Princip in Anwendung gebracht, das besonders für sehr starke Linsensysteme passen könnte. Der ganze ins Mikroskop eintretende Lichtkegel nämlich wird durch eine Fläche aufgefangen, welche das Licht theils hindurchlässt, theils reflectirt, und das durchtretende wie das reflectirte Lichtbündel können zur Erzeugung von Bildern für Oculare verwendet werden. Die erste derartige Construction stammt von Powell und Lealand, und diese sind ohne Zweifel darauf gekommen, als sie nach den Principien des Amerikaners H. L. Smith den weiterhin zu erwähnenden Beleuchtungsapparat für undurchsichtige Objecte anfertigten. Ueber das Objectiv kommt eine geneigte Glastafel mit parallelen Flächen. Die Lichtstrahlen durchsetzen zum grösseren Theile diese Glastafel; ein anderer Theil wird aber an der Unterfläche reflectirt, gelangt durch eine seitliche Oeffnung am Mikroskoprohre zu einem rechtwinkeligen Prisma, und erreicht von hier aus ein zweites mit einem Oculare versehenes Mikroskoprohr. — Dabei hat man die Wahl zwischen einer dicken Glasplatte, wo die an der zweiten Fläche reflectirten Strahlen neutralisirt werden, und einer ganz dünnen Glasplatte, wobei die von beiden Flächen reflectirten Strahlenbündel ziemlich zusammenfallen. Mit beiderlei Formen verbinden sich besondere Vorzüge und Nachtheile, auf die ich nicht erst besonders aufmerksam zu machen brauche. Wenn aber die Glasplatte nicht ganz schief gestellt wird, wo sie dann auch eine entsprechende Länge haben muss, so wird offenbar die Menge des reflectirten Lichtes, wodurch das Bild im zweiten Mikroskoprohre erzeugt wird, jene des durchtretenden Lichtes nicht erreichen, und die Gesichtsfelder in beiden Mikroskopröhren werden verschiedene Helligkeit besitzen. Das kann aber dem binoculären Sehen nur Eintrag thun.

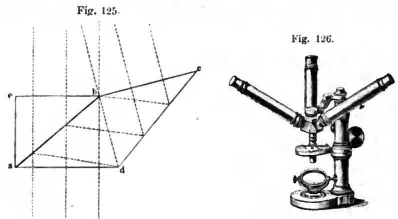
Aus diesem Grunde hat Wenham (*Quart. Journ.* 1866. *Transact.*

p. 105) eine andere Einrichtung ersonnen, die in Fig. 125 in vierfacher Vergrösserung dargestellt ist. Das Prisma *abcd* hat etwa die gleiche Form, wie jenes in Wenham's früherem binoculären Mikroskope, (I, S. 204 und 205); nur ist die Unterfläche *ad*, die über das ganze Objectiv kommt, verhältnissmässig grösser. Ein rechtwinkeliges Prisma *aeb* kehrt seine Hypothenusenfläche der Fläche *ab* zu, und darf nur sehr wenig davon abstehen. Die reflectirende Fläche *dc* des ersteren Prismas hat eine Silberfolie. Der Gang der Lichtstrahlen ist aus der Figur deutlich genug zu entnehmen, und braucht nicht näher besprochen zu werden.

Man ersieht unschwer, dass bei dieser Einrichtung die Lichtstrahlen gleichmässiger über die beiden Mikroskopröhren sich vertheilen werden,

Fig. 125.

Fig. 126.



Wenham's veränderte Prismen für ein binoculäres Mikroskop.

Nachet's trioculäres Mikroskop.

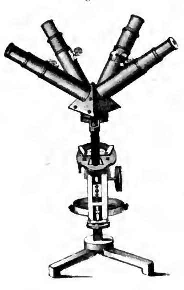
daneben aber auch, dass ein solches binoculäres Mikroskop unmöglich stereoskopisch wirken kann. Die beiden Bilder werden ja durch das Gesammtobjectiv und nicht durch besondere Theile des Objectives erzeugt, sind also einander ganz gleich, und damit ist die erste Bedingung des stereoskopischen Sehens ausgeschlossen.

Ein trioculäres Mikroskop Nachet's ist in Fig. 126 dargestellt und bedarf auch keiner näheren Beschreibung. Mit den drei Objectivsystemen Nr. 0, 1 und 3 kostet es 400 Francs.

Durch Fig. 127 (a. f. S.) endlich bekommt man eine Vorstellung vom quadrioculären Mikroskope, dessen Theorie ich auch bereits im ersten Bande entwickelt habe. Eine dazu gehörige Glaspyramide hatte mir van Deyl Bunders in Amsterdam geschliffen. Die Form war gut und ebenso die Politur; es ging aber der benutzten Glassorte die Homogenität ab, und dadurch erwies sich das Prisma ganz unbrauchbar für den be-

stimmten Zweck. Hierauf hat Steinheil in München eine andere solche Pyramide nach meiner Vorschrift geschliffen; diese ist in Betreff der Homogenität des Glases ganz vortrefflich, die Form aber ist nicht vollständig gelungen. Nichtsdestoweniger genügt diese Pyramide so ziemlich, um das quadrioculäre Mikroskop, dessen mechanische Ausführung von dem Instrumentenmacher Olland in Utrecht herrührt, zu einem für Demonstrationen passenden Instrumente zu machen, sobald man nur mit den Vergrösserungen nicht über 100 Male hinausgeht. Wird übrigens grössere Sorgfalt auf die Herstellung der Pyramide verwendet, so lässt sich nach meiner Ueberzeugung recht wohl ein quadrioculäres Mikroskop herstellen, dessen Bilder auch bei einer mindestens doppelt so starken Vergrösserung noch vollkommen hell und scharf hervortreten werden.

Fig. 127.



Harting's quadrioculäres Mikroskop.

Die mechanische Einrichtung dieses Mikroskopes ersieht man deutlich aus der Abbildung. Wie beim binoculären Mikroskope besteht auch hier jedes Mikroskoprohr aus zwei Röhren, die sich in einander schieben lassen, und von denen die innere sich durch einen Trieb bewegen lässt, damit jedes Ocular einzeln für das Auge des Beobachters eingestellt werden kann. Der ganze optische Theil wird auf das oben benannte Amici'sche Stativ geschraubt, so dass dieses abwechselnd in ein monoculäres, ein binoculäres, ein einfaches oder zusammengesetztes stereoskopisches, oder in ein quadrioculäres Mikroskop umgewandelt werden kann.

Was die praktische Brauchbarkeit dieser verschiedenen Arten multoculärer Mikroskope betrifft, so kann ich nur auf das verweisen, was ich im ersten Bande darüber gesagt habe: nicht die Wissenschaft, wohl aber der Unterricht können dadurch gefördert werden.

65 Werfen wir am Ende dieses Abschnittes noch einen Blick auf den Entwickelungsgang des zusammengesetzten Mikroskopes während mehr denn zwei und ein halb Jahrhunderten, die seit seiner Erfindung verflossen sind.

Wenn sich auch nicht ganz bestimmt angeben lässt, in welcher Zu-

sammensetzung das Mikroskop zuerst aus den Händen seiner Erfinder (Hans und Zacharias Janssen 1590?) hervorging, so dürfen wir doch mit einer an Sicherheit angrenzenden Wahrscheinlichkeit annehmen, dass es aus zwei convexen Gläsern bestand. Ungefähr bis zur Mitte des folgenden Jahrhunderts erhielt sich diese Zusammensetzung; da fügte man noch ein drittes Convexglas hinzu, und Einzelne fingen auch an, planconvexe Gläser zu nehmen, die sie selbst zu Doublets vereinigten. Die Vergrösserung ging bei den zusammengesetzten Mikroskopen in der letzten Hälfte des 17. Jahrhunderts nicht hoch: eine 80malige Vergrösserung galt schon für sehr viel, und eine 140malige konnte man nur durch eine ungewöhnliche Verlängerung des Rohres zu Stande bringen. Dabei dürfen wir es aber als ausgemacht annehmen, dass bei diesen Vergrösserungen kaum soviel zu erkennen war, als wir jetzt bei einer 20maligen Vergrösserung mit Leichtigkeit wahrnehmen. Das hatte einen doppelten Grund: erstens fehlte es den Bildern an Schärfe, weil sich beiderlei Aberrationen geltend machten, und zweitens betrachtete man die Objecte nur bei auffallendem Lichte. Beinahe erst ein Jahrhundert nach der Erfindung des zusammengesetzten Mikroskopes kam man darauf, demselben die beim einfachen Mikroskope schon längst gebräuchliche Einrichtung zu geben. Am Fusse, der zugleich als Objecttisch diente, wurde nämlich eine Oeffnung angebracht, und die daraufliegenden Objecte nebst dem Mikroskoprohre wurden dem Lichte zugekehrt (Tortona 1685). Das war eine grosse Verbesserung; denn jetzt konnte man auch kleinere Linsen mit enger Oeffnung als Objective verwenden und dadurch stärkere Vergrösserungen herbeiführen, ohne genöthigt zu sein, stärkere Oculare zu nehmen oder das Mikroskoprohr ungebührlich zu verlängern. Die Beobachtung in horizontaler Stellung war aber bei vielen Objecten unbequem. Gleichwohl dauerte es noch dreissig Jahre, ehe man zu jenem klar auf der Hand liegenden Hülfsmittel, nämlich dem lichtreflectirenden Spiegel (Hertel 1715) griff, wodurch die Vortheile der verticalen Stellung und der Beobachtung bei durchfallendem Lichte vereinigt wurden; und mag es auch jetzt, wo jede neue Verbesserung so schnell bekannt wird und Nachahmung findet, fast unglaublich erscheinen, erst zwanzig Jahre später wurde der Gebrauch des Beleuchtungsspiegels ein allgemeiner.

Die sonstigen Verbesserungen im optischen Theile während des übrigen achtzehnten Jahrhunderts waren sehr unbedeutend. Während man früher versucht hatte, das Objectiv aus zwei Linsen zusammenzusetzen (Sturm 1672), kam man jetzt offenbar wieder mehr rückwärts, indem man allgemein eine biconvexe Linse nahm; denn dieser konnte nur eine geringe Oeffnung gegeben werden, wenn das Bild nicht zu sehr an Schärfe verlieren sollte. Alle suchten eine Verbesserung des zusammengesetzten Mikroskopes durch die das Ocular zusammensetzenden Gläser zu erreichen

(Hooke 1665, Divini 1668, Grindl 1685, Dellebarre 1767 bis 1777); statt zweier Gläser nahm man deren drei, vier, selbst fünf; statt biconvexer Linsen nahm man planconvexe, und deren wechselseitige Abstände und Krümmungen änderte man auf die mannichfaltigste Weise; nach der Entdeckung des Mittels zum Achromatisiren der Fernrohre (Chester More Hall 1722) machte man selbst biconvexe Linsen aus Flintglas und Kronglas (Dellebarre), und hoffte auf diese Weise auch das Mikroskop achromatisch zu machen; — keiner von allen diesen Versuchen führte aber zum Ziele, die Verbesserungen waren ganz unerheblich und bestanden gewöhnlich nur darin, dass das Gesichtsfeld an Breite zunahm und mehr geebnet wurde. Im eigentlichen optischen Vermögen, das heisst in der Unterscheidbarkeit eines gleich stark vergrösserten Objectes, standen die zusammengesetzten Mikroskope gegen Ende des achtzehnten Jahrhunderts auf gleicher Stufe mit jenen, die beinahe ein Jahrhundert früher verfertigt worden waren. Nur hatte man allmälig immer stärker vergrössernde Linsen zu den Objectiven genommen, was allerdings ein Fortschritt war, aber auch hierin bereits die äusserste Grenze erreicht, die nicht füglich überschritten werden konnte, wenn das Bild nicht zu sehr an Lichtstärke verlieren sollte. Wirklich schien das zusammengesetzte Mikroskop dem einfachen immer mehr das Feld räumen und nur noch in den Sammlungen physikalischer Instrumente eine Stelle finden zu sollen, oder allenfalls mochte es zur Befriedigung der Neugier sogenannter Liebhaber dienen, die es eher als Kaleidoskop benutzten, als zur Förderung der Wissenschaft. Zu wissenschaftlichen Untersuchungen gaben alle wahren Naturforscher einstimmig und mit vollem Rechte dem einfachen Mikroskope den Vorzug.

Schon länger als ein halbes Jahrhundert kannte man das Verfahren, wie Objective für Fernrohre achromatisch gemacht werden; dieses Verfahren aber auch auf die weit kleineren Linsen für die Objective des zusammengesetzten Mikroskopes anzuwenden, schien den Meisten ein ganz wahnwitziges Unternehmen, das man kaum versuchen dürfte. Nur Einzelne dachten etwas anders darüber und gaben den Muth nicht auf. Schon in den letzten Jahren des vorigen Jahrhunderts war Beeldsnyder (1791), zwar nicht ein Meister im Mikroskopbaue, sondern nur ein einfacher Liebhaber, dem es selbst an wissenschaftlicher Anleitung gefehlt hatte, bemüht, das zu Stande zu bringen, was Anderen eine Unmöglichkeit zu sein schien. Mehrere Jahre später (1807) wurde durch dessen Stadtgenossen H. van Deyl, der aber allerdings in der Anfertigung optischer Instrumente erfahren war und schon viele Jahre früher (1762) mit seinem Vater J. van Deyl nicht ohne Erfolg das nämliche Ziel an gestrebt hatte, ein achromatisches Mikroskop hergestellt, welches 17 Jahre lang unübertroffen dastand. Während aber die geräuschlosen Versuche des Ersteren ganz unbekannt blieben, und die des Anderen von den Zeit-

genossen und Landsleuten nicht gehörig anerkannt wurden, erwachte auch bei Anderen der Muth, die Kräfte an diesem Ziele zu versuchen. Auf mehreren Punkten Europas (Fraunhofer 1811, Amici 1815, Domet 1821, Tulley 1824) arbeitete man mit mehr oder weniger Erfolg daran; nur gelang es noch immer nicht, achromatische Objective mit so kurzer Brennweite herzustellen, dass sie einigermaassen jenen gleich gekommen wären, deren man sich gewöhnlich beim zusammengesetzten Mikroskope bediente.

Ein glücklicher Gedanke überwand endlich auch diese Schwierigkeit. Statt eine einzelne achromatische Linse zu nehmen, vereinigte man mehrere zu einem Systeme (Selligue und Chevalier 1824), und nun hatte man nicht allein den Weg gefunden, ein Objectiv mit hinreichend kurzer Brennweite herzustellen, sondern noch wichtiger war es, dass diese Verbindung zugleich das Mittel an die Hand gab, die chromatische wie die sphärische Aberration in erheblicher Weise zu verbessern, wenn man den Abstand zwischen den Doppellinsen auf die erfahrungsmässig beste Weise einrichtete.

Von da an war die Bahn zur ferneren Vollendung des zusammengesetzten Mikroskopes gebrochen. Nach ein Paar Jahren hatte es das einfache Mikroskop in Betreff des optischen Vermögens eingeholt, und es verblieben ihm die früheren Vorzüge, die es vor diesem vorausgehabt hatte. Noch ein Paar Jahre später war das einfache Mikroskop auch in ersterer Beziehung überholt, trotz dem, dass Viele bemüht waren, das Instrument, welches ihnen so lieb geworden war und dem die Wissenschaft so viele Entdeckungen zu verdanken hat, ebenfalls einem höheren Grade der Vervollkommnung zuzuführen. Der Versuch schlug nicht fehl, Theorie und Praxis schlossen sich genau an einander, um das Ziel zu erreichen, und es wurde viel darauf verwandt, dem einfachen Mikroskope seinen früheren Vorrang bleibend zu sichern; nichts desto weniger musste es aber endlich den Streit fallen lassen.

Die grossen Fortschritte, welche das zusammengesetzte Mikroskop gemacht hat, seitdem man aplanatische Linsensysteme gebraucht, treten am deutlichsten hervor, wenn man eins der besten älteren zusammengesetzten Mikroskope, etwa jenes von Dellebarre, mit den besseren neueren vergleicht, und als Maassstab die kleinsten noch sichtbaren dioptrischen Bildchen nimmt:

Digitized by Google

	Brennweite.	Sichtbarkeit		Unterscheidbarkeit		Unterscheidbarkeit	
		runder Objecte.	drahtförmiger Objecte.	der Drähte eines Netzes.	der Maschen eines Netzes.	zweier Drähte.	des Interstitiums derselben.
Dellebarre 1777	2,50mm	$\frac{1}{1300}$ mm	$\frac{1}{6900}$ mm	$\frac{1}{1490}$ mm	$\frac{1}{990}$ mm		
Amici . . . 1835	3,87 „	$\frac{1}{4070}$ „	$\frac{1}{37000}$ „	$\frac{1}{3800}$ „	$\frac{1}{2415}$ „		
Oberhäuser 1848	1,70 „	$\frac{1}{4350}$ „	$\frac{1}{42800}$ „	$\frac{1}{8580}$ „	$\frac{1}{3390}$ „		
Amici . . . 1848	2,66 „	$\frac{1}{4790}$ „	$\frac{1}{41300}$ „	$\frac{1}{6140}$ „	$\frac{1}{3750}$ „		
Hartnack 1860	1,66 „	$\frac{1}{6580}$ „	$\frac{1}{47500}$ „	$\frac{1}{8831}$ „	$\frac{1}{4314}$ „	$\frac{1}{8770}$ mm	$\frac{1}{5210}$ mm
Powell und Lealand . . . 1860	1,36 „	—	—	—	—	$\frac{1}{9260}$ „	$\frac{1}{5320}$ „
Hartnack 1864	1,28 „	—	—	$\frac{1}{9225}$ „	$\frac{1}{4500}$ „	$\frac{1}{9615}$ „	$\frac{1}{5500}$ „

Nehmen wir Abstand von der Sichtbarkeit drahtförmiger Objecte, wobei die Bestimmung wegen ungemeiner Kleinheit der Bildchen immer etwas unsicher ausfällt, und berücksichtigen blos die Grenzen der Sichtbarkeit runder Objecte und die Unterscheidbarkeit der Maschen eines Drahtnetzes, so überzeugt uns der Vergleich des Dellebarre'schen Mikroskopes mit den neueren Mikroskopen, dass sie sich im optischen Vermögen etwa wie 1 : 5 verhalten.

66 Da die Bilder in unseren heutigen Mikroskopen so grosse Schärfe und Helligkeit erlangt haben, so möchte man vielleicht glauben, das zusammengesetzte Mikroskop habe jetzt seinen Culminationspunkt erreicht und es sei wenig Aussicht vorhanden, dasselbe auf eine höhere Stufe der Vollkommenheit zu bringen. Das ist aber ein Irrthum, wie zumal die Geschichte der letzten Jahre dargethan hat. Wiederholt und namentlich kurze Zeit nach Einführung der achromatischen Linsen hat man jene Ansicht ausgesprochen, und doch hat jedes folgende Jahr immer den Beweis geliefert, dass man noch lange nicht die Bahn der möglichen Verbesserungen durchlaufen hat. Am Ziele der Vollkommenheit würde das Mikroskop dann angekommen sein, wenn sein optisches Vermögen mit der Vergrösserung gleichen Schritt hielte; dass dies aber noch nicht der Fall ist, habe ich oben (I, §. 247) ausführlich dargethan. Ich lege noch einige Versuche über das optische Vermögen einiger neueren Amici'schen Objectivsysteme im Vergleiche mit dem blossen Auge vor. Es wird aber

genügen, wenn ich diese Vergleichung auf die Vergrösserung mit dem schwächsten Ocalare einschränke, wodurch die Vergrösserung des blossen Objectives etwa eine siebenmal grössere wird.

Objectiv.	Brennweite der äquivalenten Linse.	Vergrösserung.	Sichtbarkeit kugelf. Objecte. Wirkliche Verstärkung.	Verlust.	Sichtbarkeit fadenf. Objecte. Wirkliche Verstärkung.	Verlust.	Unterscheidbarkeit v. Maschenräumen. Wirkliche Verstärkung.	Verlust.
Nr. 1.	26.15mm	96	76	0.21	62	0.35	74	0,23
„ 2.	7.45 „	217	116	0,49	99	0.54	154	0,29
„ 6.	4.00 „	423	215	0.49	161	0.64	175	0,59
„ 11.	2.67 „	650	241	0.63	199	0.69	229	0,65

Man ersieht hieraus ganz deutlich eine Vervollkommnung des Instrumentes von 1848 gegen jenes von 1835; indessen fehlt doch auch noch viel daran, dass die äusserste Grenze optischer Vollkommenheit bereits erreicht wäre. Bei den stärkeren Objectivsystemen findet immer noch ein verhältnissmässig grosser Verlust statt, und steigert man die Vergrösserung noch durch Anwendung stärkerer Oculare, dann nimmt dieser Verlust in einem erheblichen Maasse zu.

Bei den Hartnack'schen Objectiven Nr. 10 und 11 ist die wirkliche Vermehrung des optischen Vermögens:

	Nr. 10.	Nr. 11.
Runde Objecte	332 Mal	
Drahtförmige Objecte .	208 „	
Maschen des Drahtuetzes	262 „	272 Mal.

Diese beiden Objective vertragen nun zwar recht gut Oculare, womit eine 1000fache Vergrösserung zu Stande kommt, ja selbst eine 1500- bis 2000fache, ohne dass die Schärfe des Bildes zu sehr verliert. Gleichwohl lehren auch diese Zahlen, wie weit wir noch davon entfernt sind, dass die wirkliche Zunahme des optischen Vermögens eines Mikroskopes mit dessen Vergrösserung gleichen Schritt hält.

Das giebt zugleich einen Fingerzeig für den Weg, der fortan eingeschlagen werden muss, um die zusammengesetzten Mikroskope in optischer Beziehung auf eine höhere Stufe der Vollkommenheit zu bringen. Bis vor wenigen Jahren war es allgemeine Ansicht, der selbst wohl jetzt noch manche Optiker zugethan sind, man müsse sich vor allem darauf verlegen, achromatische Objective mit möglichst kurzer Brennweite herzustellen. An und für sich ist dies auch zu billigen; denn im Allgemei-

Digitized by Google

nen darf angenommen werden, das Bild werde um so deutlicher und schärfer sich darstellen, je weniger das Ocular zur Vergrösserung beiträgt. Dabei wird aber etwas vorausgesetzt, was erfahrungsmässig niemals stattfindet und auch nicht stattfinden kann, dass nämlich bei dem stärkeren Objectivsysteme die Aberrationen gleichviel verbessert sind. wie bei den schwächeren. Nur in diesem Falle würde jede Verkürzung des Focus ein Gewinn sein. Sobald indessen mit einem Objective von 1 Millimeter Brennweite nicht mehr gesehen werden kann, als mit einem solchen von 2 Millimeter Brennweite, dann verdient letzteres den Vorzug, schon deshalb, weil dann zwischen dem Objective und dem Objecte mehr Raum übrig bleibt. Nun wird aber die Tüchtigkeit des Objectives für ein zusammengesetztes Mikroskop ganz besonders durch die ansehnlichere oder geringere Grösse des Oeffnungswinkels bestimmt. Diesen zu vergrössern, ohne dass die Correction der sphärischen Aberration darunter leidet, muss demnach das Ziel Aller sein, die das Mikroskop zu verbessern wünschen, und es lässt sich voraus sehen, dass auf diesem Wege, der von Manchen bereits mit so gutem Erfolge betreten wurde, auch fernerhin noch ein erheblicher Fortschritt möglich ist.

Andererseits ist es aber nicht zu verkennen, dass eine zu einseitige Vergrösserung der Oeffnung der Objectivlinsen dem begrenzenden Vermögen oder der Sichtbarmachung Eintrag thut, und dass manche Optiker in der letzten Zeit darin wohl zu weit gegangen sind. Diesen schädlichen Folgen kann zwar zum Theil durch ein drehbares Diaphragma begegnet werden, wodurch man die Oeffnung des Objectives nach Willkür verkleinert oder vergrössert. Die wesentliche Ursache indessen, weshalb die beiden Hauptmomente des optischen Vermögens eines Mikroskopes, das Unterscheidungsvermögen und das Begrenzungsvermögen nicht immer gleichen Schritt halten, liegt wohl darin, dass die beiden Aberrationen immer nur theilweise verbessert sind, namentlich für jene Strahlen, welche in der Nähe des Randes durchtreten. Durchaus beachtenswerth bleibt somit immer noch das Bemühen, die Aberrationen zu vermindern, und verdienen die Versuche von Amici und von Ross alle Nachahmung, die das sogenannte secundäre Spectrum dadurch zu beseitigen suchten, dass sie jede Doppellinse des Objectives aus zwei besonderen Glassorten mit verschiedenem Brechungs- und Dispersionsvermögen zusammensetzten.

Eine erspriessliche Verbesserung ist die Immersion, wodurch man das optische Vermögen bei Objectiven verbessert, deren Unterfläche dem Deckplättchen so nahe steht, dass eine Wasserschicht zwischen beide kommen kann. Ueber die Vortheile der Immersion habe ich mich früher (I., S. 160) ausführlich ausgesprochen. Amici hat sie zuerst 1850 angewendet, und eine Reihe Optiker des europäischen Continents, nament-

lich Hartnack, Nachet, Chevalier, Merz, Hasert, Schröder, haben sie auf ihre Objective übertragen. Nur in England scheint die Immersionseinrichtung bis jetzt wenig oder gar keinen Eingang gefunden zu haben. Um so mehr Beachtung verdient daher die oben (S. 204 u. 208) mitgetheilte Thatsache, dass die starken Objective von Ross und von Powell im optischen Vermögen die Immersionssysteme der Franzosen und Deutschen erreichen, wenn nicht gar übertreffen. Daraus folgt freilich noch nicht, dass die Immersion etwas Ueberflüssiges ist. Eher wird man schliessen dürfen, dass die genannten englischen Optiker, falls sie Immersionssysteme gleich sorgfältig arbeiteten, wie ihre bisherigen Objective, und ihnen die gleiche Brennweite und den nämlichen Oeffnungswinkel gäben, ein noch stärkeres optisches Vermögen, als mit ihren jetzigen Mikroskopen, erreichen würden.

Vom Oculare wurde oben (I, §. 158) nachgewiesen, dass dessen Einrichtung für das optische Vermögen des zusammengesetzten Mikroskopes keineswegs gleichgültig ist; indessen wird seine Construction jener des Objectives immer untergeordnet bleiben. Die meisten Optiker nehmen jetzt Huygens'sche Oculare, manche aber auch Ramsden'sche (I, §. 162). Es lässt sich nicht bestimmt erweisen, ob die von Manchen gewählte Zusammensetzung des Oculares aus achromatischen Doppellinsen zu einer erheblichen Verbesserung führen wird. Die bis jetzt verfertigten aplanatischen Oculare haben ein zu schwaches Vergrösserungsvermögen und ein zu kleines Gesichtsfeld, als dass ihnen vor den anderen der Vorzug eingeräumt werden könnte. Die Möglichkeit indessen, auch auf diesem Wege das Mikroskop noch mehr zu vervollkommnen, lässt sich nicht in Abrede stellen; nur muss man, wenn man aplanatische und gewöhnliche Oculare mit den nämlichen Objectivsystemen benutzen will, dabei immer im Auge behalten, dass die Linsen des aplanatischen Oculares unterverbessert sein müssen. 67

Als eine Eigenthümlichkeit des Amici'schen Mikroskopes habe ich die Einrichtung angeführt, dass der Abstand der beiden Linsen des Oculares der Abänderung fähig ist, dieser Abstand also so eingerichtet werden kann, wie er sich für jedes Objectiv und für verschiedene Längen des Rohres als der zweckmässigste herausstellt. In der That ist es nicht möglich, alle Objective in so vollkommener Weise als überverbesserte herzustellen, dass ein Ocular mit unveränderlichen Gläsern gleich gut für alle passte, und aus diesem Grunde verdient jene Verbesserung allerdings Nachahmung. Indessen wird sie immer nur einen beschränkten Nutzen gewähren, weil unter denen, die das Mikroskop benutzen, nur wenige sich die Mühe geben werden, vorher zu prüfen, welche Distanz der Augengläser unter verschiedenen Umständen die passendste ist.

Eine grosse Ungleichheit tritt uns entgegen, wenn wir die Oculare

verschiedener Optiker hinsichtlich der Vergrösserung unter einander vergleichen. Durch die fünf Oberhäuser'schen Oculare wird, bei voller Länge des Mikroskoprohres, das durchs Objectiv erzeugte Bild 2,5 — 2,6 — 3,3 — 5,4 und 7,3 Mal vergrössert, bei den drei Amici'schen Ocularen dagegen beträgt diese Vergrösserung 6,9 — 10,7 und 14,9 Mal. Eine bestimmte Regel lässt sich dafür allerdings nicht aufstellen, da die Oculare in dem Maasse stärker sein können, als die Objective ein reineres Bild geben; doch meine ich, dass die zwei eben genannten Optiker die Extreme repräsentiren, die man beide zu vermeiden hat. Im Allgemeinen darf man annehmen, dass drei Oculare mit einer 4fachen, 6fachen und 9- oder 10fachen Vergrösserung für alle Fälle ausreichen werden.

Bei Beurtheilung der relativen Tüchtigkeit der Oculare kommt ferner in Betracht, welchen Grad von Ebenung das Gesichtsfeld dadurch bekommt. Es wurde früher (I, §. 151 u. 162) nachgewiesen, dass durch ein Huygens'sches Ocular die Krümmung des Bildes sich vollständig beseitigen lässt. Da aber alsdann der relative Abstand beider Gläser nicht immer genau der Art ist, dass die noch vorhandene Aberration des Bildes verbessert wird, so pflegen viele Optiker das ebene Gesichtsfeld ganz oder theilweise zum Opfer zu bringen, und man trifft manchmal Oculare, wodurch das Bild eine derartige Krümmung erlangt, dass die Vergrösserung am Rande und in der Mitte des Gesichtsfeldes auffallend differirt; daher dann alle mikrometrischen Methoden, bei denen es auf eine genaue Kenntniss des Vergrösserungswerthes ankommt, unzulässig sind.

Aus diesem Grunde wäre es wünschenswerth, wenn die Optiker künftighin das Beispiel Kellner's befolgten und ihren Mikroskopen Oculare mit einem ebenen und zugleich grossen Gesichtsfelde gäben. Von Belthle, gleichwie früher von Kellner, kann man übrigens um den Preis von 7 Thalern einzelne orthoskopische Oculare beziehen; nur muss bei der Bestellung genau angegeben werden, wie weit das Luftbild vom Objective absteht.

68 Eine recht gute, jetzt immer mehr in Gebrauch kommende Verbesserung ist die, wenn das Mikroskoprohr länger und kürzer gemacht werden kann. Zwei in einander verschiebbare Röhren eignen sich aber hierzu besser, als die Bildung des Rohres aus zwei Theilen, die durch eine Schraube verbunden sind. Mehrfache Gründe machen die allgemeine Verbreitung dieser Einrichtung wünschenswerth. Erstens lassen sich damit die Aberrationen verbessern, die bei der Benutzung von Deckplättchen in Folge des nicht ganz genauen Verhältnisses zwischen Objectiv und Ocular entstehen (I, §. 165). Zweitens gestattet sie, die Erhebung des Oculares über den Tisch dergestalt zu verkürzen, dass man mit Bequemlichkeit im Sitzen arbeiten kann. Drittens bietet sie das Mittel dar, jedes zusammengesetzte Mikroskop auf die beste und einfachste Weise in

ein bildumkehrendes und zugleich pankratisches zu verwandeln, indem man unten an das innere Rohr ein achromatisches Linsensystem mit ziemlich grosser Brennweite anschraubt, welches nach Willkür wieder weggenommen werden kann. Ein vierter Vortheil kann damit erzielt werden, wenn auf dem inneren Rohre eine Scala in Millimetern oder in einer anderen beliebigen Maasseinheit angebracht wird, und wenn ein für alle Mal in einer Tabelle die Höhen verzeichnet sind, bis wohin das innere Rohr ausgezogen werden muss, damit die Vergrösserung des Mikroskopes für die Entfernung von der oberen Fläche des Oculares bis zum Tische herab, worauf das Mikroskop steht, den Werth von 100, 200, 500, 1000 Mal u. s. w. hat, was bei mikrometrischen Bestimmungen mit Projection des Bildes sehr bequem ist. Fünftens endlich wird durch eine solche Einrichtung auch die Benutzung reflectirender Prismen erleichtert, die man temporär in die Bahn der Strahlen bringen kann, damit diese unter Winkeln von 90°, 60° oder 45° fortgehen.

Weniger nutzbringend ist das Verfahren, die Concavlinse zwischen Objectiv und Ocular zu verlegen, wozu jetzt manche Optiker greifen. Wir haben übrigens gesehen, dass schon vor länger als einem Jahrhunderte durch dieses Mittel die Vergrösserung ansehnlich gesteigert wurde; nur hat man neuerer Zeit eine achromatische planconcave Linse genommen. Ueber ihre Wirkung kann ich aus eigener Erfahrung nicht berichten. Dass sie unter besonderen Umständen Nutzen bringen könne, ist früher (I, §. 159) dargethan worden; doch möchte ich glauben, dass sie in den meisten Fällen mehr schadet als nützt. Mohl, der die Sache eigends geprüft hat, räth von ihrer Anwendung ab. Aber Tolles in Nordamerika (*American Journ.* 1861, January) scheint sie doch mit gutem Erfolge zur stärkeren Vergrösserung beigezogen zu haben.

Ich habe hier auch eines Vorschlages von Barfuss (Schumacher's *Astron. Nachrichten* 1843. XX, S. 17 und 39. Poggendorff's *Annal.* 1846. Bd. 68, S. 88) zu gedenken, der aus theoretischen Gründen und auf Berechnungen sich stützend, in das Rohr des zusammengesetzten Mikroskopes ein Correctivglas einfügen will, das aus einer planconvexen und einer planconcaven Linse von gleichen Krümmungen bestehen soll, deren gerade Flächen dem Objective zugekehrt werden. Die Vergrösserung erfährt dadurch gar keine Aenderung; es hat dieses Correctivglas einzig und allein die Bestimmung, die letzten Reste der sphärischen Aberration zu beseitigen, und deshalb muss es innerhalb des Rohres so lange auf- und niedergeschoben werden, bis man den Ort gefunden hat, wo es den besten Erfolg gewährt. Hierbei ist Barfuss offenbar von der Ansicht ausgegangen, in einem achromatischen Objective sei wesentlich nur die chromatische Aberration verbessert. Wir haben indessen früher (I, §§. 62, 126 und 158) gesehen, dass auch die sphärische Aberration verbessert 69

wird, und zwar ebensowohl durch die Verbindung einer Flintglaslinse mit einer Kronglaslinse, als durch die Vereinigung von zwei oder mehr solchen Doppellinsen zu einem Systeme, ja dass es selbst zur Ueberverbesserung kommen kann, wie das wirklich bei jenen Objectiven in unseren zusammengesetzten Mikroskopen der Fall ist, wo die entgegengesetzten Aberrationen des Objectives und des Oculares einander wechselseitig aufheben. Dem ist es wohl zuzuschreiben, dass der Vorschlag von Barfuss, dessen theoretische Begründung nicht bezweifelt werden kann, bei der praktischen Ausführung durch Nobert (Poggendorff's *Annal.* Bd. 67, S. 184) nur ungünstige Resultate lieferte. Dies konnte auch nicht anders sein, da überverbesserte Objective benutzt wurden. Hat nun aber auch Barfuss *) übertriebene Erwartungen von seiner Methode gehegt, so lässt sich doch nicht leugnen, dass sie einer näheren Prüfung werth ist und für besondere Fälle sich vielleicht bewähren kann.

Ein also zusammengesetztes Correctivglas wird z. B. den Einfluss der Deckplättchen hemmen können. Aber nur die Erfahrung wird darthun können, ob dieses Verfahren vor den beiden jetzt gebräuchlichen den Vorzug verdient, die ihrerseits auch wieder genau mit einander verglichen und geprüft werden müssen, bevor man darüber entscheiden kann, welche von diesen Verfahrungsweisen die meisten Vortheile bietet. Das Verfahren von Ross, der den Abstand der untersten Linse des Objectives von den beiden anderen verändert, ist sicherlich einfacher als jenes von Amici, wobei eine grössere Anzahl achromatischer Linsen erforderlich ist, und mit der von Smith darin angebrachten Verbesserung findet es in gleicher Weise wie das Amici'sche bei Deckplättchen von sehr verschiedener Dicke Anwendung. Es wäre gut, wenn man diese Correctionseinrichtung nach Wenham's Methode (I, S. 159) machte. Mit Bestimmtheit darf man aber behaupten, dass jedes Mikroskop unvollkommen ist, bei dem auf diesen Einfluss der Deckplättchen keine Rücksicht genommen wird, und dass dieser Einfluss in dem Maasse, als die beiden Aberrationen vollständiger aufgehoben sind, nur um so merklicher hervortritt. Mit einem Amici'schen Objective von 8,7 Millimeter Brennweite, wodurch

*) Barfuss glaubt, mit Hülfe seines Correctivglases müsse das vom Objective erzeugte Bild so scharf und klar werden, dass man ziemlich das ganze Vergrösserungsvermögen des Mikroskopes ins Ocular verlegen könne. Sein berechnetes Objectiv vergrössert nur 5 Mal, und doch soll man mit Hülfe der Oculare eine 200malige Vergrösserung bekommen. Das darf man unbedenklich zu den Chimären zählen! Auch verräth es einen offenbaren Mangel praktischer Kenntniss des Mikroskopes, wenn Barfuss (S. 45) sagt: „Doppelobjective von $^1/_{18}$ Zoll Brennweite und einem Oeffnungswinkel von 65°, wie sie in England verfertigt worden sein sollen, gehören gewiss zu den schlechtesten dioptrischen Machwerken." Was sollte man dann von den Objectiven der Jetztzeit sagen, die einen mehr als doppelt so grossen Oeffnungswinkel haben, und die man mit vollem Rechte als Triumphe der Kunst ansieht?

die achte Gruppe des Nobert'schen Probetäfelchens noch ganz deutlich unterschieden wird, sobald ein Deckplättchen von 1 Millimeter Dicke aufliegt, erkennt man nur noch die Striche der fünften Gruppe, sobald dieses Plättchen entfernt wird. Bei weniger guten Objectiven fällt diese Differenz allerdings geringer aus. Nie soll man indessen nur das Mittelmässige erstreben.

Endlich drängt sich noch die Frage auf, ob denn für den verschie- 70
denartigen Aberrationszustand der Augen verschiedener Personen keine Verbesserungsmittel am Mikroskope anzubringen sind. Das Auge und das Mikroskop zusammen bilden ein optisches Ganzes, und da unzweifelhaft das Auge nicht vollkommen aplanatisch ist, so darf man es für mehr als wahrscheinlich halten, dass in dieser Beziehung Verschiedenheiten zwischen dem Auge des Einen und des Anderen vorkommen, und somit auch der nämliche Aberrationszustand im Mikroskope nicht auf alle Augen den nämlichen Einfluss üben wird. In der That kann man hin und wieder bei schwer wahrnehmbaren Einzelnheiten beobachten, dass der Eine nichts mehr davon wahrnehmen kann, während der Andere, der doch durch das nämliche Mikroskop sieht, dieselben noch gleich gut erkennt. Man kann dies nicht dem verschiedenen Accommodationszustande der Augen beider Beobachter zuschreiben, dem durch feine Einstellung begegnet werden könnte, noch auch der grösseren oder geringeren Empfindlichkeit der Netzhaut, da man die Sache bei Personen beobachtet, die einander in der Gesichtsschärfe unter gewöhnlichen Umständen nichts nachgeben. Wahrscheinlich muss man also dabei an eine grössere oder geringere Uebereinstimmung zwischen dem Auge und dem Mikroskope denken, vermöge deren die in beiden vorkommenden entgegengesetzten Aberrationen bei diesem Individuum sich gegenseitig vollkommener aufheben als bei jenem. Amici hat schon daran gedacht (S. 175); doch unterliegt es wenigstens dem Zweifel, ob das Umdrehen des ganzen Mikroskoprohres um seine Axe hierzu ausreichen wird. Wahrscheinlicher ist es, dass hier ähnliche Mittel helfen werden, als die, wodurch man den Einfluss der Deckplättchen beseitigt; es müssten also für verschiedene Augen ungleich dicke Deckplättchen genommen werden.

Das beweist von Neuem, wie nöthig es ist, dass jeder sein eigenes Mikroskop studirt und sich nicht ohne Weiteres auf die vom Optiker gegebenen Anweisungen verlässt. Diese können für das eigene Auge vollkommen richtige sein, sind es aber vielleicht nicht in gleichem Maasse für das Auge eines Anderen.

Wenn auch zugestanden werden muss, dass das optische Vermögen 71
der zusammengesetzten Mikroskope immer noch einer bedeutenden Verbesserung fähig ist, so steht es doch anders mit deren mechanischer Ein-

richtung. Für die Untersuchungen wenigstens, wozu das Mikroskop gegenwärtig benutzt wird, ist die mechanische Einrichtung, welche die meisten Optiker ihren Instrumenten geben, vollkommen ausreichend. Man trifft sogar an manchen Gestellen, namentlich an englischen, einen Luxus von allerlei künstlichen Bewegungsmitteln an, die ganz sinnreich ausgedacht und meisterhaft ausgeführt sind, meistens aber als überflüssige Verfeinerungen gelten dürfen.

Ueber die wesentlichen Erfordernisse eines guten Gestelles für das zusammengesetzte Mikroskop habe ich mich schon früher (I, §. 166) ausführlich ausgesprochen. Im Allgemeinen, darf man annehmen, entsprechen die in den letzten Paragraphen dieses Abschnittes beschriebenen Gestelle diesen Anforderungen mehr oder weniger vollständig. Eine Uebersicht darüber, wie der Eine auf diese Weise, der Andere auf jene Weise die Sache ausgeführt hat, würde sich aber ohne viele Wiederholungen nicht geben lassen; zudem habe ich auch bereits hier und da kurz angegeben, inwiefern diese oder jene Einrichtung als zweckmässig oder unzweckmässig zu erachten ist.

Vielleicht erwartet aber mancher Leser am Schlusse der Betrachtung der zusammengesetzten Mikroskope mein Urtheil, welchen von den jetzigen Optikern ich vor den übrigen den Vorzug einräume. Ich enthalte mich eines solchen Urtheils, da es nicht ein durchaus gerechtes würde sein können, und ich muss sogar hier darauf dringen, dass man aus den Resultaten, zu denen ich durch die Untersuchung verschiedener Mikroskope gelangt bin, keinen voreiligen Schluss ziehe über die Stufe, bis zu welcher sich die betreffenden Optiker in ihrer Kunst erhoben haben. Nur dann würde das Urtheil auf einer gerechten Basis ruhen, wenn Instrumente mit einander verglichen würden, die genau zur nämlichen Zeit aus den Werkstätten der verschiedenen Optiker kamen. Und wahrscheinlich würden bei der Vergleichung zweier Instrumente aus einer späteren Zeit sich doch wieder andere Resultate herausstellen.

Wenn auch die Optiker ein mehr oder weniger gleichbleibendes Modell für ihre Gestelle gewählt haben, so dass ihre Instrumente in der äusseren Form und in der Einrichtung des Ganzen einander immer gleichen, so steht es doch anders mit der optischen Einrichtung. Diese sucht ein jeder mehr und mehr zu vervollkommnen, so dass die Mikroskope, welche in Zwischenräumen von mehreren Jahren aus der nämlichen Werkstatt kamen, im optischen Vermögen immer einen viel grösseren Unterschied erkennen lassen, als jene, welche von verschiedenen Optikern zu der nämlichen Zeit geliefert wurden. Dem ist es theilweise zuzuschreiben, dass das Urtheil verschiedener Beobachter über Mikroskope aus der nämlichen Werkstatt so ganz verschieden ausfallen konnte. Es kommt noch hinzu, dass die meisten sehr geneigt sind, jenem Mikroskope bestimmt vor anderen den Vorzug zu geben, woran sie sich seit geraumer Zeit ge-

wöhnt haben, was auch ganz natürlich ist, da jeder sein Instrument am besten kennt, so dass er schon aus diesem Grunde allein besser durch dasselbe beobachten wird, als durch ein anderes, dessen Vorzüge und Mängel er noch nicht kennt. Man darf aber dreist behaupten, dass, wenngleich nicht alle gegenwärtigen Werkstätten auf gleiche Linie gestellt werden können, der Unterschied dennoch nicht gar auffallend ist, oder mit anderen Worten, bei weitem die meisten Forschungen, welche die mikroskopische Hülfe erfordern, lassen sich mit unseren neueren aplanatischen Mikroskopen, wenn sie nur einer der bekannten oben genannten Optiker verfertigt hat, ziemlich mit dem gleichen Grade von Sicherheit und Genauigkeit durchführen. Nur für einzelne Fälle, z. B. bei den Forschungen über die Entwickelungsgeschichte der organischen Elementartheile, ist der höchste Grad der optischen Vollkommenheit, der bis jetzt erreicht wurde, wünschenswerth.

Zum Schlusse will ich noch darauf hinweisen, welche Menge von Mikroskopen angefertigt worden ist, seitdem man sie aplanatisch zu machen gelernt hat. Von 1836 bis 1848 haben in London Ross, Powell und Smith, ganz abgesehen von den kleineren Instrumenten, 836 grosse zusammengesetzte Mikroskope verkauft (Quekett l. l. p. 46). Späterhin hat diese Production nach einer an die *Microscopial Society* erstatteten Mittheilung von G. Shadbolt (*Quart. Journ.* 1857. XIX, p. 241) noch zugenommen; danach haben diese drei ersten Optiker Londons nur allein im Laufe des Jahres 1856 zusammen 217 grosse Instrumente abgegeben, und Smith daneben noch 175 kleinere, zusammen also 392. Aus den Werkstätten von vier anderen Mikroskopverfertigern, nämlich Salmon, Amadio, Ladd, Pillischer, seien ausserdem noch 115 grosse und 243 kleine Mikroskope hervorgegangen. Somit würde die Gesammtzahl der während eines Jahres in London verfertigten und verkauften Mikroskope mindestens 750 betragen, da, wie Shadbolt selbst zugiebt, in dieser Aufzählung gar viele noch nicht mit begriffen sein werden. Ebenso wurden 1857 von Powell, von Ross und von Smith in London 385 Mikroskope abgegeben, also fast gleich viel wie 1856 (*Quart. Journ.* Apr. 1858. p. 75). Diese Ziffer ist aber weiterhin noch grösser geworden. Im Jahre 1862 lieferten die drei grossen Londoner Firmen mehr denn 600 Mikroskope, und darunter reichlich 100 ganz grosse (*Quart. Journ.* 1863. N. Ser. X, *Transact.* p. 30). Erwägt man, was in England unter einem grossen Mikroskope verstanden wird, so darf man sich wohl nicht darüber wundern, dass bei einer mikroskopischen Soirée, die bei der Versammlung der *British Association* zu Bath am 20. September 1864 stattfand, die dort zusammengestellten Mikroskope mit 6000 Pfund Sterling versichert waren (*Quart. Journ.* 1865. N. Ser. XVII, p. 73).

Ich habe schon früher erwähnt, dass vor mehreren Jahren Oberhäuser binnen 16 Monaten 236 Mikroskope absetzte. Sein Nachfolger

Digitized by Google

Hartnack hat innerhalb der letzten 5 Jahre nur allein über 400 Immersionssysteme verkauft (Henri van Heurck, *Le Microscope* etc. 1865. p. 19). Nach einer mündlichen Mittheilung setzte Nachet 1858 im Mittel 200 Mikroskope im Jahre ab. Somit produciren die genannten neun Optiker gut und gern 1100 Mikroskope im Jahre. Nun bestehen aber neben ihnen noch wenigstens 25 Werkstätten in Europa und 4 in Nordamerika, in denen auch Mikroskope verfertigt werden, darunter die von Field und Comp. in Birmingham, die binnen 4 Jahren (1855 bis 1859) etwa 1400 kleine Mikroskope verkaufte. Wenn auch in den meisten derselben, da sie sich nicht ausschliesslich mit Mikroskopen beschäftigen, diese Production gewiss eine geringere ist, so wird man doch zuverlässig unter der Wahrheit bleiben, wenn man annimmt, dass jährlich 2000 aplanatische Mikroskope verfertigt und verkauft werden.

Welch ein Gewinn für die Wissenschaft, wenn mit jedem dieser Mikroskope auch nur Eine neue Entdeckung ausgeführt würde!

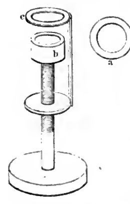
Digitized by Google

Sechster Abschnitt.

Das einfache katoptrische Mikroskop.

Dass die Alten bisweilen die vergrössernde Kraft des Hohlspiegels 72
benutzten, ist bereits oben (S. 11) erwähnt worden. In der letzten Hälfte des 17. Jahrhunderts finden wir aber zum ersten Male eine Art Mikroskop erwähnt, zu dem ein Hohlspiegel benutzt wurde. Bei Zahn (*Oculus artificialis*. Herbip. 1685. Fund. III, p. 113) ist ein solches Instrument beschrieben: ein Hohlspiegel nämlich steckt in einem vierseitigen hölzernen Kasten, der mit einer Oeffnung versehen ist, wodurch man die vor dem Spiegel befindlichen Objecte vergrössert sieht. Das Instrument gehörte zur sogenannten *Microscopia curiosa* und diente dazu, Bilder oder andere grosse Objecte, wie Blumen und dergleichen, vergrössert darzustellen. Zahn giebt aber selbst an, dass schon früher Gervasius Mattmüller, den er als *Opticus Caesareus* bezeichnet, desgleichen P. Traber, der Verfasser des im Jahre 1675 erschienenen *Nervus opticus*, dergleichen Instrumente verfertigt hatten.


Fig. 128.



Katoptrisches Mikroskop von Gray.

Später hat dann Stephen Gray (*Philos. Transact.* 1697. p. 541) eine concave spiegelnde Oberfläche als Mikroskop angewandt und zwar auf die zweckmässige Weise, welche in Fig. 128 dargestellt ist. Er nahm einen kleinen Messingring *a*, der innen einen Durchmesser von höchstens $^1/_{10}$ Zoll hatte. Diesen Ring bestrich er mit einer Auflösung von salpetersaurem Quecksilber, und weiterhin brachte er einen Tropfen Quecksilber darauf. Der Ring mit dem umschlossenen Quecksilbertropfen kam dann auf den Rand

Digitized by Google

eines kleinen hohlen Cylinders *b*, wodurch der anfangs biconvexe Tropfen eine concave spiegelnde Fläche erhielt, so dass ein in gehöriger Entfernung befindlicher Gegenstand sich stark vergrössert darstellte. Zur Aufnahme des Objectes diente eine kleine durchbohrte Platte *c*, die an dem genannten Cylinder mittelst eines Stäbchens befestigt war und durch eine Schraube höher und niedriger gestellt werden konnte. So richtig dieses Instrument auch ausgedacht war, gleichwohl vermochte es nur wenig zu leisten, weil sich die Objecte natürlich nur in sehr unvollkommener Beleuchtung darstellen konnten.

Besser ist dafür gesorgt bei einem katoptrischen Mikroskope, welches ein Venetianer Selva im Jahre 1769 der französischen Akademie anbot (*Hist. de l'Acad.* 1769, p. 129), und wo der Hohlspiegel von 6 Linien Brennweite in eine grosse Glaslinse eingeschlossen war, die blos den Zweck hatte, das Object zu beleuchten. Die Beschreibung ist ganz kurz, aber ausdrücklich wird angegeben, es sei ein rein katoptrisches Mikroskop gewesen. Santini (*Teorica degli Stromenti ottici*, II, p. 197) erwähnt, dass Selva's Sohn in seinen *Dialoghi ottici*. Venez. 1787, erzähle, sein Vater habe schon 1740 ein Gregorianisches Teleskop in ein recht gutes Mikroskop umgeändert, dessen Beschreibung er im Jahre 1761 gab, und später habe er es in der vereinfachten Form der französischen Akademie angeboten.

Weiterhin scheint man sich nicht mehr auf die Anfertigung einfacher katoptrischer Mikroskope verlegt zu haben. Auch bringt es ihre Einrichtung mit sich, dass sie kaum zu etwas anderem zu gebrauchen sind, als um dem Beobachter Gelegenheit zu geben, seine eigenen Augen bei einer stärkeren Vergrösserung zu betrachten, wozu sich doch selten Veranlassung finden wird. Zu Untersuchungen eignen sich Linsen im Allgemeinen weit besser. Denn wenn auch bei Hohlspiegeln die Farbenzerstreuung fehlt, so vermag dies die vielen mit ihrer Anwendung verbundenen Uebelstände noch nicht aufzuwiegen.

Digitized by Google

Siebenter Abschnitt.

Das katadioptrische Mikroskop.

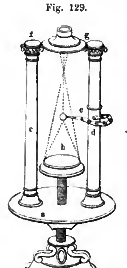
Die früher beschriebenen Mängel der zusammengesetzten dioptrischen Mikroskope und die Schwierigkeit, sie zu verbessern, waren Veranlassung, dass man als Ersatz des dioptrischen Objectives seine Zuflucht zu katoptrischen Hulfsmitteln nahm. 73

Man weiss, dass Newton einer der Ersten war, der reflectirende Fernrohre anwandte, wenngleich als erster Verfertiger eines Spiegelteleskopes Nicolas Zucchius (*Optica philosophia.* Lugd. 1652, p. 126) zu nennen ist, dessen Versuche bis zum Jahre 1616 zurückreichen. Newton kam aber auch zuerst auf den Gedanken, ein katadioptrisches Mikroskop herzustellen (*The Life of Sir Isaac Newton by Brewster*, p. 311). In zwei Briefen vom Jahre 1679 an Oldenburg, den Secretair der *Royal Society*, sprach er sich darüber aus, wie ein solches Instrument eingerichtet sein müsste. Man erfährt aber nicht, ob es durch ihn selbst oder unter seiner Aufsicht zur Ausführung gekommen ist. Newton's Zweck ging einfach dahin, statt des Objectivglases im zusammengesetzten Mikroskope einen concaven Spiegel zu benutzen, dessen Concavität nach oben sah. Ausserdem sollte das Object in die gehörige Entfernung vom Spiegel kommen und vermittelst eines Oculares weiter vergrössert werden. Vom dioptrischen zusammengesetzten Mikroskope unterschied sich diese Einrichtung wesentlich darin, dass das erste Bild nicht durch ein einfaches dioptrisches Mikroskop zu Stande kam, sondern durch ein einfaches katoptrisches Mikroskop. Da nun das so entstandene Bild der chromatischen Aberration nicht unterworfen war, so musste es schärfer begrenzt sich darstellen, als das Bild im zusammengesetzten dioptrischen Mikroskope.

Digitized by Google

Wirklich sind Mikroskope nach dieser Anweisung Newton's gefertigt worden, doch habe ich nicht nachkommen können, von wem und zu welcher bestimmten Zeit. Die Abbildung und Beschreibung eines solchen findet sich in dem schon mehrgenannten *Vollständigen Lehrgebäude der ganzen Optik*, S. 369, Tab. II, Fig. 7, wo sie aus der im Jahre 1726 erschienenen dritten Ausgabe von Bion's *mathematischer Vorschule* aufgenommen worden ist. Die ganze Einrichtung ist in Fig. 129 dargestellt. Durch ein Fussstück *a* geht eine Schraube, auf welcher der Hohlspiegel *b* befestigt ist, der somit höher und niedriger gestellt werden kann. Auf dem Fussstücke stehen ferner zwei Stangen oder Säulen *c* und *d*, eine davon mit einem kleinen beweglichen Arme *e* versehen, der in eine Spitze ausläuft, womit das Object angestochen werden kann. Die beiden Säulen sind durch eine Scheibe *fg* vereinigt, in deren Mitte sich das Ocular befindet. Man ersieht auf der Stelle, wie unvollkommen diese Einrichtung war, da nicht einmal ein Rohr zur Abhaltung des überflüssigen Lichtes zur Anwendung kam.

Fig. 129.



Altes katadioptrisches Mikroskop.

Robert Barker (*Philos. Transact.* 1736, p. 259) erfand 1736 eine andere Einrichtung des katadioptrischen Mikroskopes, die nach seiner Anweisung von Scarlet ausgeführt wurde. Dasselbe bestand aus zwei Hohlspiegeln, einem grösseren in der Mitte durchbohrten und einem kleineren, der dazu diente, die vom Objecte auf den grossen Spiegel geworfenen und von da reflectirten Strahlen aufzufangen und durch die Oeffnung des grossen Spiegels nach dem Oculare zu bringen, welches aus zwei Gläsern bestand und zur Wahrnehmung des vergrösserten Bildes diente. Der kleinere Spiegel befand sich in der Axe eines Rohres, welches sich in einem zweiten weiteren Rohre bewegte. Mittelst einer Schraube konnten diese Röhren über einander verschoben werden, um den richtigen Abstand zwischen den beiden Spiegeln heraus zu finden. Das ganze Instrument stand auf einem Fusse, wie ein Gregorianisches Teleskop, womit auch die ganze Einrichtung viele Aehnlichkeit hatte*). Ein besonderer Objecttisch oder sonst eine Vorkehrung,

*) Barker selbst sagt in der Beschreibung, sein Instrument sei nach dem Muster des Newton'schen Teleskopes ausgeführt; das ist aber offenbar falsch. Dass Selva vier Jahre nach Barker ein solches Mikroskop hergestellt haben soll, wurde vorhin erwähnt.

Digitized by Google

um das Object darauf zu legen, fand sich nicht daran. Die Brennweite betrug 9 bis 24 Zoll.

Vermöge der grossen Brennweite gehörte dieses Instrument eher zu den schon erwähnten mikroskopischen Fernrohren, als zu den eigentlichen Mikroskopen, und somit war nur wenig von demselben zu erwarten. Eine zweckmässigere Einrichtung hatte dagegen das im Jahre 1738 erfundene katadioptrische Mikroskop von Smith in Cambridge (*System of Opticks.* II. Remarks p. 87), welches Fig. 130 im Durchschnitte dargestellt ist. Es bestand ebenfalls aus zwei übereinander gestellten Spiegeln *ab* und *cd*; der untere war convex, der obere concav, und beide waren in der Mitte durchbohrt. Die Krümmungen waren so berechnet, dass die sphärische Aberration wegfiel. Kam das Object *p* bei gewöhnlicher Beleuchtung unter den unteren Spiegel, so entstand durch Reflexion der beiden spiegelnden Oberflächen ein vergrössertes Bild desselben, welches durch das biconvexe Ocular *ef* wahrgenommen wurde. Die Vergrösserung war eine 300fache. Wie sich Barker das Gregorianische Teleskop zum Vorbilde genommen hatte, so stand Smith offenbar das Cassegrain'sche Teleskop vor Augen. Brewster (*Treatise on the Microscope.* 1832, p. 83), der ein nach diesem Principe verfertigtes Instrument untersuchen konnte, bemerkt darüber, es bewähre sich ausnehmend gut, und die Striche auf manchen Probeobjecten könne man damit ganz scharf sehen.

Fig. 130.

Katadioptrisches Mikroskop von Smith.

Mit der Herstellung katadioptrischer Mikroskope scheint sich auch B. Martin beschäftigt zu haben, denn in seinen im Jahre 1770 erschienenen *Optical Essays*, die ich aber nicht kenne, kommt eine Abhandlung vor: *On the use of the reflecting telescope as an universal perspective for viewing every sorts of objects.* In seiner *Philosophia Britannica*, 2. Ed. 1759, p. 49, werden übrigens nur die schon früher bekannten Einrichtungen von Newton und Smith genannt. Nach dem Titel der ebengenannten Abhandlung zu urtheilen, scheint aber Martin nur ein katadioptrisches Instrument im Auge gehabt zu haben, das sich ebenso als Teleskop wie als Mikroskop brauchen liess, gleichwie seine polydynamischen Mikroskope.

Katadioptrische Mikroskope von ähnlicher Zusammensetzung, wie jene von Smith, sind noch in neuerer Zeit in Friesland verfertigt worden von dem in Hallum gebornen S. J. Rienks, einem mechanischen Genie,

dergleichen man in Friesland nicht selten findet. Ohne eine Unterweisung in der Naturkunde und Mechanik erhalten zu haben, hatte sich dieser Mann in Verbindung mit einem anderen Friesen Roelofs auf die Anfertigung optischer Instrumeute gelegt. Ihre zwei Spiegelteleskope von 13 Fuss Länge auf der Haarlemer Ausstellung im Jahre 1825 fanden verdiente Anerkennnng. Auf der friesländischen Ausstellung zu Leeuwarden im Jahre 1844 befanden sich ausser einigen dioptrischen Mikroskopen auch vier katadioptrische Mikroskope von Rienks, von denen die Commission angiebt, bei recht hellem Lichte gestatteten sie die Anwendung einer starken Vergrösserung und für undurchsichtige Objecte dürfte ihnen von anderen Mikroskopen wohl kaum der Rang abgelaufen werden. Die Commission legte ihrer Vergleichung ein aplanatisches Chevalier'sches Mikroskop von 1829 zu Grunde. Für durchsichtige Objecte gab sie dem letzteren den Vorzug; für undurchsichtige Objecte dagegen und für die Betrachtuug bei auffallendem Lichte schienen ihr die Spiegelmikroskope von Rienks den Vorzug zu verdienen.

74 Es hält schwer, katadioptrische Mikroskope herzustellen und den Glanz der Spiegel ungeschmälert zu erhalten; das scheint auch der Grund gewesen zu sein, weshalb sie niemals in allgemeinen Gebrauch gekommen sind. Als indessen die Versuche, achromatische dioptrische Mikroskope herzustellen, zuerst fehlschlagen zu wollen schienen, unternahm auch Amici (*Memoria di Microscopi catadiottrici.* Modena. 1818. S. Gilbert's *Annalen.* 1820. Bd. 66, S. 253) die Herstellung katadioptrischer Mikroskope, die mehrere Jahre hindurch eines verdienten Rufes sich erfreuten.

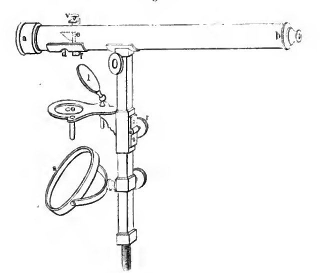
Schon früher (I, §. 171) ist in theoretischer Beziehung über dieses Mikroskop gehandelt worden. In Fig. 131 a. f. S. ist es so dargestellt, wie es Amici verfertigte. Das Mikroskoprohr *ab* enthält bei *a* einen elliptischen concaven Metallspiegel, bei *b* das Ocular; es hat 12 Zoll Länge und 1,1 Zoll Durchmesser. Der Spiegel hat ebenfalls 1,1 Zoll Durchmesser und ist von dem näheren Brennpunkte 2,6 Zoll, von dem entfernten 12 Zoll entfernt; er ist Abschnitt einer Ellipse, deren

halbe grosse Axe = 7,300 engl. Zoll,
halbe kleine Axe = 4,274 „ „
Excentricität = 0,644 „ „

beträgt. An dem innerhalb des Rohres befindlichen kleinen Stifte *e* ist ein eirundes Spiegelchen befestigt und zwar unter einem Winkel von 45°; es ist der schiefe Durchschnitt eines Metallcylinders von $^1/_2$ Zoll Durchmesser. Seine Entfernung von der Mitte des grossen Spiegels beträgt 1,5 Zoll. Das Rohr hat gerade unter dem kleinen Spiegel eine Oeffnung *d* zum Durchtritte der Lichtstrahlen, welche von dem auf dem Ob-

jecttische befindlichen Objecte *o* kommen. Der Objecttisch lässt sich durch einen Trieb, wozu der geränderte Knopf *r* gehört, an der vierseitigen Stange, worauf das Mikroskoprohr ruht, auf- und niederschieben.

Fig 131.



Katadioptrisches Mikroskop von Amici.

Die gewöhnliche Entfernung, in der sich die Objecte von der Oeffnung *d* befinden müssen, beträgt nicht ganz einen Zoll. Die Beleuchtung wird bei durchfallendem Lichte durch den concaven Glasspiegel *s* bewirkt, bei auffallendem Lichte durch die Linse *l*, oder durch ein kleines (nicht mit abgebildetes) concaves Spiegelchen, welches unten bei *f* an die Schraube *v* befestigt wird und eine Oeffnung für die Lichtstrahlen hat, welche von den Objecten kommen und durch die Oeffnung *d* in das Rohr treten. Die verschiedenen Vergrösserungen werden durch Wechseln der Oculare erzielt. Die stärkste Vergrösserung ist 1000 Mal.

Dieses Mikroskop muss sich durch grosse Helligkeit und Schärfe ausgezeichnet haben, zumal wenn man die damaligen zusammengesetzten dioptrischen Mikroskope damit vergleicht. Da aber die Tüchtigkeit eines solchen katadioptrischen Mikroskopes ganz und gar auf der genau elliptischen Form des Spiegels beruht, so kann es nicht Wunder nehmen, dass es Anderen, die dieses Mikroskop später nachmachten, nicht gleich gut gelang wie Amici, so z. B. Ch. Chevalier, der früherhin seinem grossen horizontalen Mikroskope (Fig. 78) das Rohr eines ganz nach Amici'schem Muster hergestellten katadioptrischen Mikroskopes beifügte,

Digitized by Google

welches statt des dioptrischen Mikroskopes aufgeschraubt werden konnte. Ein solches Instrument vom Jahre 1829 schien mir aber ganz mangelhaft zu sein; die meisten Probeobjecte wurden damit kaum viel besser wahrgenommen, als mit einem zusammengesetzten dioptrischen Mikroskope mit gewöhnlichen nicht achromatischen Objectiven.

Indessen hat Cuthbert in England später den Beweis geliefert, dass man Amici nicht blos nachkommen, sondern ihn auch noch übertreffen kann. Im Jahre 1837, wo das zusammengesetzte dioptrische Mikroskop durch die aplanatischen Objectivsysteme bereits zu einer hohen Stufe der Vollkommenheit gelangt war, beschrieb Goring (*Micrographia*, p. 1) als Amici's reflectirendes Engyskop ein Instrument, das Pritchard nach seiner Anleitung verfertigt hatte, wozu aber von Cuthbert, der sich lange mit der Anfertigung Gregorianischer Teleskope beschäftigt hatte, mehrere metallene Objectivspiegelchen geschliffen wurden. Vom ursprünglichen Amici'schen Mikroskope unterschied sich dieses katadioptrische Mikroskop wesentlich dadurch, dass das katoptrische Objectiv mit solchen von anderer Brennweite vertauscht werden konnte, ganz wie bei den dioptrischen Objectiven. Auch hatten die von Cuthbert geschliffenen elliptischen Spiegelchen eine weit kürzere Brennweite und einen grösseren Oeffnungswinkel als die Amici'schen, wie man aus folgender Tabelle der katoptrischen zugehörigen Objective ersieht:

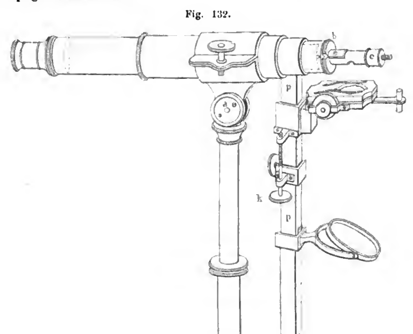
Objective.	Brennweite.	Oeffnungswinkel.
Nr. 1	2 Zoll = 50,8mm	$13^{3}/_{4}{}^{0}$
2	1 „ = 25,4 „	$18^{1}/_{2}$
3	0,8 „ = 20,3 „	$27^{1}/_{2}$
4	0,3 „ = 7,6 „	$36^{1}/_{2}$
5	0,4 „ = 10,2 „	$41^{1}/_{4}$
6	0,3 „ = 7,6 „	55

Das von Pritchard verfertigte Instrument ist Fig. 132 dargestellt. Das Mikroskoprohr ruht auf einer runden Säule mit dem Charnier *a* nach oben, damit seine Neigung verändert werden kann. An der dreiseitigen Stange *p* lässt sich der Spiegel und der Objecttisch auf- und niederschieben und zur feineren Einstellung des letztern dient die Schraube *k*. — In Fig. 133 ist ein einzelnes katoptrisches Objectiv in der natürlichen Grösse dargestellt. Bei *c* befindet sich der elliptische Spiegel, bei *d* das kleinere ebene Spiegelchen und darunter die Oeffnung *f*. Das engere Rohr mit den beiden Spiegeln ist an ein weiteres Rohr geschraubt, welches an das Ende des Mikroskoprohres kommt. Wird das Objectiv

Digitized by Google

nicht gebraucht, so zieht man das eine Rohr aus, dessen Rand bei *b* gesehen wird, und das Stück *e* kommt über die Oeffnung *f*, wodurch der Spiegel beschattet wird.

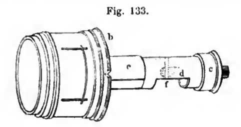
Fig. 132.



Katadioptrisches Mikroskop von Pritchard.

Zu diesem Gestell gab Pritchard auch aplanatische Objectivsysteme mit einem darüber befindlichen rechtwinkeligen Prisma, die in gleicher Weise wie die katoptrischen Objective benutzt wurden, so dass das Ganze also gleichzeitig ein zusammengesetztes dioptrisches und ein katadioptrisches Mikroskop darstellte.

Fig. 133.



Dazu gehöriges katoptrisches Objectiv von Cuthbert.

Auf Pritchard's Preiscourant stand dieses Instrument mit 18 bis 35 Pfund. Mit dem vollständigen Systeme der erwähnten kata-

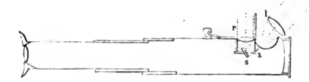
dioptrischen Objective war es aber schon 1837 nicht mehr zu bekommen, weil Cuthbert, der Einzige, der bis dahin elliptische Spiegelchen von so kurzer Brennweite verfertigt hatte, in Folge einer Schwächung des Sehvermögens dazu ausser Stand gesetzt war. Ueber das optische Vermögen solcher Mikroskope erfahren wir von Goring (*Micrographia*, p. 163), dass er mit einem katadioptrischen Objective von 55° Oeffnung und 0,3 Zoll Brennweite alle Arten von Linien auf den Schüppchen von *Pieris brassicae* mit grosser Deutlichkeit sehen konnte.

Goring bemerkt noch, man könne eine Oeffnung in den elliptischen Spiegel machen und in diese ein schwaches zusammengesetztes dioptrisches Mikroskop bringen, welches dann als Sucher diente, um die Objecte in die Mitte des Gesichtsfeldes zu bringen.

75 In den letzten drei Decennien sind noch vielfach andere katadioptrische Mikroskope in Ausführung oder doch in Vorschlag gekommen. So weit sie mir bekannt geworden sind, will ich ihrer noch gedenken.

Im Jahre 1832 beschrieb Pott (*Edinb. Journ. of Sc.* 1832. Nr. II, p. 61) das in Fig. 134 dargestellte Instrument, welches darin von den vorhergehenden abweicht, dass die Objecte in das Mikroskoprohr selbst

Fig. 134.



Katadioptrisches Mikroskop von Pott.

(bei *a*) gebracht werden. Die Einrichtung ist eigentlich die von Newton vorgeschlagene, nur darin modificirt und verbessert, dass die Linse *l* zur Beleuchtung bei auffallendem Lichte angebracht ist, die Linse *r* aber und das ebene Spiegelchen *s* zur Beleuchtung durchsichtiger Objecte dienen. Späterhin hat Pott (*Edinb. Journ.* XII, p. 228) den Spiegel auch elliptisch gemacht und die Art und Weise beschrieben, wie er diese Form erzielte. Nach Brewster (*Treatise*, p. 82) soll dieses Mikroskop sich durch grosse Schärfe und Helligkeit auszeichnen. Die Unbequemlichkeit indessen, dass die zu beobachtenden Gegenstände in das Rohr hinein gebracht werden müssen, wird der praktischen Brauchbarkeit eines solchen katadioptrischen Mikroskopes wohl immer Schranken setzen.

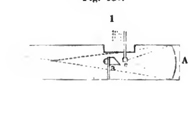
Auch William Tulley, der bekanntlich zuerst achromatische Objective in England verfertigte, hat mehrere Arten katadioptrischer Mi-

kroskope erfunden, deren Beschreibung bei Goring (*Micrographia*, p. 40) zu finden ist. In Fig. 135 sind drei Durchschnitte jenes Rohrtheiles, worin die Spiegel enthalten sind, dargestellt. Die dabei zu verwendenden Oculare sind übrigens auf gewöhnliche Art zusammengesetzt.

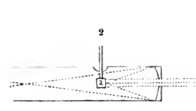
Nr. 1 stimmt ziemlich überein mit dem eben beschriebenen Instrumente Pott's. *A* ist der elliptische Spiegel; bei *e* befindet sich das Object und bei *a* ein kleines Spiegelchen zu dessen Beleuchtung.

Fig. 135.

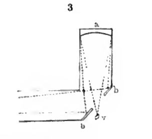
1



2



3



Katadioptrische Mikroskope von Tulley.

Nr. 2 hat einen Spiegel mit einer mittleren Oeffnung, wie beim Gregorianischen Teleskope. Dadurch fällt das Licht direct auf das in *a* befindliche Object. Es passt diese Einrichtung daher nur für Objecte, die bei auffallendem Lichte betrachtet werden. Doch würde es gerade nicht schwer fallen, sie mit der vorigen zu verbinden und den Apparat auch für durchsichtige Objecte einzurichten. Uebrigens ist dieses Mikroskop das einzige, womit die Objecte durch senkrecht auffallende parallele Strahlenbündel beleuchtet werden können, während bei allen anderen Beleuchtungsweisen für undurchsichtige Objecte die Strahlen in schiefer oder convergirender Richtung auftreffen. Wenn auch diese letzteren wegen der entstehenden Schatten in der Mehrzahl der Fälle den Vorzug verdienen mögen, so kommen doch ohne Zweifel auch Fälle vor, wo Einzelnheiten gerade bei senkrecht auffallendem Lichte am deutlichsten hervortreten.

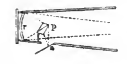
Nr. 2 wie Nr. 1 sind in der Beziehung unbequem, dass das Object in das Mikroskoprohr kommen muss, und deshalb verdient die in Nr. 3 dargestellte Einrichtung den Vorzug. Hier befindet sich das Object ausserhalb des Rohres bei *v* und schickt die Lichtstrahlen auf den elliptischen Hohlspiegel *a*. Von diesem werden sie auf den eirunden ebenen

Spiegel *bb* reflectirt, der für die vom Objecte kommenden Strahlen durchbohrt ist; von diesem reflectiren sie aber wieder unter einem Winkel von 45° auf das Ocular. Gleichwohl steht auch diese Einrichtung der Amici'schen nach, weil sich ein katoptrisches Objectiv von so kurzer Brennweite, als hierzu erforderlich ist, nur sehr schwer herstellen lässt.

Von Brewster (*Treatise*, p. 91 bis 93) wurden zwei katadioptrische Mikroskope in Vorschlag gebracht, die aber meines Wissens niemals in Ausführung gekommen sind.

Das in Fig. 136 dargestellte ist eine blosse Modification von Amici, indem statt des kleinen ebenen Spiegels ein kleines achromatisches Prisma *p* in das Rohr kommt, von welchem die vom Objecte ausgehenden Strahlen auf den Spiegel *r* geworfen werden; das Object selbst aber befindet sich auf einer schiefen Unterlage *a*, damit das Licht besser auf dasselbe trifft.

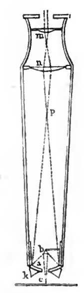
Fig. 136.



Katadioptrisches Mikroskop nach Brewster.

Besseres verspricht Brewster's zweite Einrichtung, die in Fig. 137 dargestellt ist. Hier ist *a* ein durchbohrter elliptischer Hohlspiegel, *b* aber ein kleiner ebener Spiegel, auf den die Strahlen vom Objecte *c* zunächst fallen und von wo sie auf den elliptischen Spiegel reflectirt werden. Im entfernten Brennpunkte *p* des letzteren erzeugen sie dann das Bild, welches mittelst des Oculares *mn* weiterhin vergrössert gesehen wird. Das Mikroskop steht vertical und deshalb werden durchsichtige Objecte auf gewöhnliche Weise durch einen Spiegel beleuchtet; zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte dagegen dient ein kleines Hohlspiegelchen *k*. In *bak* ist demnach ein katoptrisches Objectiv gegeben, das abwechselnd mit anderen, namentlich auch dioptrischen Objectiven gebraucht werden kann. In der That scheint diese Einrichtung unter allen, die man erdacht hat, die meisten Vorzüge in sich zu vereinigen.

Fig. 137.



Katadioptrisches Mikroskop nach Brewster.

Endlich wurde noch in England vor mehreren Jahren von Guthrie (*Microscopic. Journ.* 1841. I, p. 15) eine Modification des Amici'schen Mikroskopes vorgeschlagen, die aber von den Vorschlägen von Pott und Tulley nicht sehr abzuweichen scheint. Er hat ebenfalls das ebene Spiegelchen

entfernt und das Object in ein Rohr gebracht, zugleich aber jenen Theil des Rohres, der sich zunächst dem Spiegel befindet, durch drei kleine Säulen ersetzt und an eine davon den Objecttisch befestigt, der durch eine Schraube dem Spiegel mehr genähert oder weiter davon entfernt werden kann.

In Italien haben sich nach Amici noch Andere auf die Herstellung katadioptrischer Mikroskope verlegt, namentlich Cavalleri (*Atti della sesta reunione degli scienziati italiani.* 1845, p. 42, u. Mohl's *Mikrographie*, S. 248) und Barnabita (*Notizen a. d. Geb. d. Natur- und Heilkunde*, 1847. Nr. 7, S. 103). Aus den Beschreibungen ihrer Instrumente, die durch keine Abbildungen erläutert sind, ersieht man, dass entweder beide zu gleicher Zeit auf den nämlichen Gedanken gekommen sind, oder dass, was wohl wahrscheinlicher ist, der Letztgenannte Cavalleri benutzt nnd nur ein Paar Veränderungen angebracht hat. 76

Professor Cavalleri von Monza benutzt einen verticalen Glascylinder von 9 Linien Durchmesser. Die untere Basis des Cylinders, welche gegen das Object sieht und 7 Linien davon entfernt ist, erscheint nach aussen concav; sie besteht aus einer mittleren sphärischen Höhlnng (*calotta*), welche von einer anderen weniger gekrümmten sphärischen Oberfläche umgeben wird; das Centrum beider liegt in der Axe des Cylinders. Die nach oben befindliche Fläche des Cylinders besteht aus zwei mit einander übereinstimmenden Theilen: eine in der Mitte befindliche schwach gekrümmte Höhlung ist von einer convexen Fläche umgeben. Die Höhlung an der Basis und der hohle Theil der Oberfläche sind mit Stanniol überzogen, so dass erstere einen convexen, der letztere aber einen concaven Spiegel darstellt. Cavalleri giebt selbst an, dass sein Mikroskop nichts anderes ist, als ein nach kleinem Maassstabe ausgeführtes Cassegrain'sches Fernrohr. Er kann es 4 Zoll lang machen, und doch noch eine starke Vergrösserung bekommen. Ein vom Objecte ausgehendes Lichtbündel beschreibt innerhalb des Glases einen Weg, der ans drei geraden Linien zusammengesetzt ist, und beim Ein- und Austritte findet keine auffallende Brechung statt, da die Strahlen in beiden Fällen auf die Oberflächen ziemlich senkrecht fallen.

Die Beschreibung, welche Barnabita von seinem Mikroskope gegeben hat, stimmt in den Hauptpunkten damit überein. Es ist ebenfalls ein cylindrisches Glas, dessen dem Objecte zugekehrte Grundfläche concav ist; die Krümmnng ist von der Entfernung des Objects abhängig. In der Mitte befindet sich eine kleine tiefere Aushöhlung, deren Krümmung durch Berechnung bestimmt wird; sie ist mit Spiegelfolie belegt. Das obere Ende des Cylinders ist convex und ebenfalls mit Folie belegt; die Krümmnng muss hier ebenfalls durch Rechnung gefnnden werden. In der Mitte dieser Oberfläche befindet sich eine kleine nicht mit Folie

belegte Höhle, deren Krümmung bestimmt wird durch die Entfernung des Bildes von jenem, welches durch die vom untersten kleinen Spiegel nach oben reflectirten Strahlen gebildet wird. Das erzeugte Bild wird dann auf gewöhnliche Weise durch ein Ocular mit zwei Gläsern vergrössert betrachtet.

Aus den letzten Zeilen der Beschreibung erhellt der zwischen beiden Mikroskopen vorkommende alleinige Unterschied. Cavalleri benutzt seinen Glascylinder mit den zwei spiegelnden Oberflächen wie ein einfaches Mikroskop; Barnabita dagegen hat ein katadioptrisches Objectiv für ein zusammengesetztes Mikroskop darans gemacht. Offenbar lässt sich das Instrument mit Vortheil auch in kleinerer Form herstellen, als es Cavalleri gethan hat.

In einem solchen katadioptrischen Objective nehmen die Strahlen folgenden Weg. Das Object wird durch einen Spiegel anf gewöhnliche Weise beleuchtet und seine Strahlen gehen ungebrochen von der untersten concaven Fläche zur obersten convexen Fläche. Hier werden die Strahlen reflectirt, sie fallen auf den kleinen convexen Spiegel der unteren Fläche, verlaufen von hier wiederum durch den concaven Theil der oberen Fläche ohne Brechung nach oben und bilden dann oben das vergrösserte Bild.

Ohne Zweifel liegt dieser Einrichtnng des katadioptrischen Mikroskopes ein guter Gedanke zu Grunde, und dergleichen katoptrische Objective würden wohl den wesentlichen Vorzng haben, dass sie in kleinem Maassstabe sich herstellen lassen und mithin stark vergrössern. Indessen darf man bezweifeln, dass sie Eingang finden würden, weil es ungemein schwierig, um nicht zu sagen nnmöglich ist, den concaven und convexen Glasoberflächen, deren man sich hier als Spiegel bedienen mnss, eine elliptische Krümmung zu geben, ohne welche doch an eine vollständige Verbesserung der sphärischen Aberration nicht zu denken ist.

77 Endlich habe ich noch eines von Doppler (*Ueber eine wesentliche Verbesserung der katadioptrischen Mikroskope.* Prag 1845) gemachten Vorschlags zu gedenken, von dem schon früher (I, §. 172) die Rede war, wo die theoretischen Gründe dafür erörtert wurden. Doppler kommt nämlich zu dem Schlusse, die passendste Krümmung für den Spiegel eines katadioptrischen Mikroskopes habe man nicht in den Scheiteltheilen, sondern in den zwischenliegenden Partien einer Ellipsoidoberfläche. Das hierdurch entstehende Bild, meint er, müsse ganz scharf nnd bestimmt nnd frei von allen Aberrationen sein; er giebt sich daher ganz ernstlich dem Gedanken hin, ein Haus ausdrücklich für ein solches Mikroskop herzustellen, und er liefert auch einen Durchschnitt desselben. Nach dieser Abbildung sollte das Haus aus zwei Vertiefungen bestehen. In einem Zimmer, am Ende der unteren Vertiefung, befindet sich der Objecttisch,

auf dem die Objecte mittelst einer sehr grossen Linse beleuchtet werden, welche das Licht einer Hydrooxygengasflamme auf Kalk concentrirt. Ein Laboratorium zur Bereitung der Gase findet sich zunächst dem Objecttischzimmer. Die Decke des letzteren hat eine Oeffnung, durch welche die vom Objecte kommenden Strahlen auf den schief stehenden elliptischen Spiegel fallen, der sich mithin in der zweiten Vertiefung und zwar am Ende eines langen Ganges befindet. Dieser Gang stellt hier das Mikroskoprohr vor. An seinem anderen Ende befindet sich das Ocular, wodurch Doppler die Objecte 20000 Mal vergrössert sehen will.

Auf die Unausführbarkeit eines solchen Vorschlages brauche ich hier wohl nicht näher einzugehen. Hätte Doppler neben seinem theoretischen Wissen praktische Kenntnisse des Mikroskopes besessen, so würde er wohl mit seinem Plane und dem Aufrufe an die deutschen Fürsten zur Herstellung eines so riesigen katadioptrischen Mikroskopes zurückgehalten haben.

Aus dem Vorstehenden ist ersichtlich, dass vielerlei zum Theil ganz 78
verschiedenartige Versuche gemacht worden sind, den Hohlspiegel als katoptrisches Objectiv zu verwenden, und dass auch in der neueren Zeit, wo das dioptrische Objectiv zu so hoher Vollkommenheit gelangt ist, Manche den Muth noch nicht verloren haben, dasselbe durch ein katoptrisches Objectiv zu ersetzen. Die Vortheile und Nachtheile dieser beiden Objectivarten wurden schon oben (I, §. 174) von theoretischer Seite und nach Maassgabe der Erfahrung auseinandergesetzt und daraus wurde der Schluss gezogen, dass die dioptrischen Mikroskope für jetzt wenigstens wahrscheinlich nicht durch die katoptrischen verdrängt werden dürften. Den dort angeführten Gründen habe ich hier noch folgenden hinzuzufügen. In dem durch einen vollkommen elliptischen Spiegel erzeugten Bilde ist die sphärische Aberration zwar vollständig aufgehoben; aber wenn dies auch theoretisch ganz wahr ist, so ist es doch in der praktischen Ausführung nur annäherungsweise möglich. Es giebt keine Instrumente, wodurch der Arbeiter mit einiger Zuverlässigkeit in den Stand gesetzt würde, den erforderlichen kleinen Spiegelchen eine bestimmte Krümmung zu geben, ja wenn auch dergleichen Instrumente erfunden wären, sie würden wahrscheinlich nicht immer hierzu verwendbar sein. Alles kommt demnach auf die Geduld und die Geschicklichkeit des Arbeiters an, oder vielleicht auch auf den Zufall, der ihm günstig oder ungünstig sein kann. Anders steht es mit den dioptrischen Objectiven, wie sie jetzt geliefert werden. Nur bis zu einem gewissen Punkte hat es der Arbeiter auch hier in seiner Macht, die Aberrationen in den einzelnen Doppellinsen zu verbessern. Ist dies aber geschehen, dann vereinigt er zwei, drei oder selbst vier von diesen nicht vollkommen verbesserten Doppellinsen zu einem Systeme, er verändert ihren wechselseitigen Ab-

Digitized by Google

stand so lange, bis sie zusammen ein scharfes und helles Bild zu geben scheinen, und damit ist das dioptrische Objectiv fertig, gewiss innerhalb eines weit kürzeren mittleren Zeitraumes, als ein katadioptrisches Objectiv von gleicher relativer Vollkommenheit sich herstellen lässt. Dazu kommt noch, dass man nicht erwarten darf, jemals katoptrische Objective von so kurzer Brennweite und mit so grossem Oeffnungswinkel zu Stande zu bringen, wie man es jetzt bei den aplanatischen Linsensystemen auszuführen vermag. Das stärkste vergrössernde Spiegelchen, welches Cuthbert herstellte, hatte 7,6 Millim. Brennweite und nur 55° Oeffnungswinkel; die neueren Linsensysteme aber haben eine vier- bis fünfmal kleinere Brennweite und einen mehr denn dreimal so grossen Oeffnungswinkel.

Digitized by Google

Achter Abschnitt.

Das Bildmikroskop.

Schon einige Male bin ich im Falle gewesen, allgemein verbreitete 79
Irrthümer in der Geschichte der mikroskopischen Instrumente aufzudecken. Wir haben gesehen, dass durch falsche Uebersetzung dem ersten Mikroskope von Hans und Zacharias Janssen eine ungeheuerliche Länge zugeschrieben wurde (S. 97), dass die von Leeuwenhoek erfundenen Hohlspiegelchen zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte mit Unrecht zu einer Erfindung Lieberkühn's gestempelt wurden (S. 39), dass Fraunhofer ohne Grund allgemein als der erste Verfertiger achromatischer Objective angesehen wird, da ihm hierin zwei Holländer vorausgegangen sind, von denen wenigstens der eine eine Beschreibung seines Mikroskopes hat drucken lassen (S. 133). Der stärkste Irrthum waltet nun aber ob in Betreff des ersten Erfinders des Sonnenmikroskopes. Alle neueren Autoren haben Baker nachgeschrieben, dass Lieberkühn dasselbe eigentlich erfunden, Cuff aber durch Hinzufügen des Spiegels dasselbe verbessert habe, und dass diese Verbesserung ins Jahr 1738 falle. Wir werden jedoch sehen, dass das Sonnenmikroskop mit dem Spiegel schon viel früher bekannt war und beschrieben worden ist.

Die eigentliche Geschichte dieses Instrumentes beginnt mit der Er- 80
findung der Laterna magica. Es ist die Meinung aufgestellt worden (*Encyclop. Brit.* Ed. 6, XIV, p. 173), bei Porta*) fänden sich bereits Andeutungen über deren Zusammensetzung. Richtiger nimmt man aber

*) In Porta's *Magia naturalis* findet sich nichts, was darauf hinwiese. Seine Schrift *De refractione optica*, welche 1583 erschienen ist, habe ich zwar nicht nachsehen können. Da indessen Libri, der sonst niemals versäumt, die Entdeckungen seiner Landsleute in den Vordergrund zu stellen, ganz darüber schweigt, so glaube ich annehmen zu dürfen, dass dies eine ganz falsche Annahme ist.


Google

wohl an, dass sie zuerst von Kircher in dessen *Ars magna lucis et umbrae* beschrieben worden ist, wovon die erste Ausgabe im Jahre 1646 erschien. Bereits damals war Kircher auf den Gedanken gekommen, statt einer Lampe das Sonnenlicht zu benutzen, welches durch einen Metallspiegel aufgefangen wurde*). Auf die Oberfläche dieses Spiegels wurden verschiedene Dinge gemalt, die sich vergrössert auf der gegenüberstehenden Wand darstellten, wenn die Lichtstrahlen durch eine convexe Linse in ein dunkles Zimmer geleitet wurden. Er benutzte dazu auch wohl lebende Insecten, die er auf den vorher mit Honig bestrichenen Spiegel brachte, um ihre Bewegungen dadurch zu verlangsamen. Auch steckte er wohl eine Fliege oder ein anderes Insect an eine Nadel, und hielt dann hinter den Spiegel einen Magnet, den er hin- und herbewegte, um dadurch die Bewegungen des Thieres nachzumachen. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass sein Apparat aus einem horizontalen Brettchen bestand, welches an dem einen Ende den Spiegel trug, der sich um eine Axe drehte; die Linse aber kam in die geforderte Entfernung mittelst einer länglichen Aushöhlung in dem nämlichen Brettchen, worin der die Linse tragende Bügel sich auf- und niederbewegte. Dieser Apparat wurde vor eine Oeffnung des dunkel gemachten Zimmers gehalten und der Spiegel so geneigt, dass die Sonnenstrahlen durch die Linse und durch die Oeffnung fielen. Wie unvollkommen dieser Apparat auch war, offenbar ist er das Sonnenmikroskop in der allereinfachsten Form. Es gehörte aber kein grosser Scharfsinn dazu, denselben entschieden zu verbessern, was auch schon nach einigen Jahren geschehen ist. In Zahn's

*) Ich habe blos die zweite Auflage (Amstelod. 1671) benutzen können, wo pp. 768, 793 u. 794 die betreffenden Angaben gefunden werden. Man ersieht aber aus p. 768, dass Kircher bereits von diesen Mitteln Gebrauch machte, als er die erste Ausgabe seines Buches besorgte. Wilde (*Gesch. d. Optik*, I, S. 294) bezweifelt, dass Kircher die Laterna magica erfunden habe, weil Dechales (*Mundus mathematicus*, Ed. 2. 1690, III, p. 696) angiebt, ein Däne habe ihm schon 1665 eine Laterna magica mit zwei convexen Gläsern gezeigt, und Kircher habe die seinige zwar in der zweiten Ausgabe seiner *Ars magna lucis et umbrae* von 1671 beschrieben, nicht aber in der Ausgabe von 1646. Nun giebt aber Kircher in der zweiten Ausgabe (p. 768) ausdrücklich an, dass er die Laterna magica bereits in der früheren Ausgabe beschrieb, und fügt hinzu, der Däne Thomas Walgenstein habe sie weiterhin verbessert; nur ist aus seinen Worten schwer zu entnehmen, worin diese Verbesserung eigentlich bestanden hat. Vorläufig, bis ich Gelegenheit finden werde, die Ausgabe von 1646 zu vergleichen, oder bis ich das dort Vorkommende irgendwo anders genauer beschrieben finde, glaube ich also Kircher als den Erfinder gelten lassen zu müssen. Noch von einem Anderen wird Kircher die Ehre der Erfindung streitig gemacht. Kolhans (*Neuerfundene mathematische und optische Curiositäten*. Leipzig 1676, S. 318) schreibt nämlich diese Erfindung dem Nürnberger J. F. Grindl zu, von dessen zusammengesetztem Mikroskope oben (S. 103) die Rede war. Dieses Zeugniss dürfte aber von zu spätem Datum sein, als dass viel Gewicht darauf zu legen wäre.

Google

Oculus artificialis von 1687 wird die Laterna magica als wahres Mikroskop bezeichnet, wodurch man kleine Insecten und Wasserthierchen vergrössert sehen könne, und statt des Lampenlichts wird das Sonnenlicht empfohlen, das mittelst eines ebenen Spiegels aufgefangen und dirigirt werden soll *).

Das Sonnenmikroskop war so nach allen seinen wesentlichen Bestandtheilen bekannt. Von späterem Datum scheint einzig und allein die Beifügung der Belenchtungslinse zu sein, um die Benutzung von stärkeren Linsen, als gewöhnlich bei der Laterna magica in Gebrauch sind, möglich zu machen. Da aber genauere Angaben über die Vergrösserung der ersten Sonnenmikroskope fehlen, so hält es schwer, irgend etwas Bestimmtes hierüber anzugeben.

Erst ein halbes Jahrhundert später wurde das Sonnenmikroskop als sogenanntes Camera-obscura-Mikroskop allgemein bekannt. Der in Danzig geborene Fahrenheit, welcher seit 1701 in Amsterdam lebte, woselbst er anch 1736 gestorben ist, hatte einige Zeit vor seinem Tode 81

*) Zahn schreibt Fund. III, p. 255: *Cum in Lucerna megalographica veri microscopii speciem habeamus, in qua etiam minima reposita plurimum tamen aucta in trajecta imagine repraesentari possunt, haud aliter imagines objectorum minutorum adhibitis aliis microscopiis in oculum trajectae multo majores ipsis objectis depingi solent, sic etiam in Lucerna magica, si minutissima animalcula in loco vitri plani deponantur, eadem mirifice aucta in pariete vel quocunque plano dealbato repraesentari poterunt.* Er empfiehlt dazu zwei Täfelchen von Glas oder Glimmer, zwischen die ein Ring eingeschoben wird, und fährt dann weiter fort: *Cum solis radii idem praestare possint, quod lampadis lumen a speculo reflexum, si in tubum ita duo vitra lenticularia, prout in lucerna magica fieri debet, reponantur, et quaecunque minuta objecta, veluti muscae aliaque animalcula in loco imaginis collocentur tubusque soli in obscurato conclavi ita obvertatur, ut radii ad parietem vel quodcunque planum dealbatum trajici possint, haberi poterit illius minuti objecti appositi imago multo major aeque in pariete albo, prout per lucernam fieri solet. Quod si etiam non satis commode tubus directe soli obverti queat, poterunt debiti praetento speculo plano radii intus non obscurato conclavi ad quemcunque peritum locum traduci pro imagine ibidem efformanda.*

Wahrscheinlich ist aber Dechales bereits vor Zahn darauf gekommen, die Laterna magica als Sonnenmikroskop zu benutzen. In dessen *Cursus s. Mundus mathematicus*, Ed. 2. 1690, wird p. 696 erwähnt, dass ein gelehrter Däne, welcher 1665 durch Lyon kam, dort die Laterna magica zeigte, und p. 698 heisst es dann: *Microscopium habes in hujusmodi machina, quod tamen ad usum revocare poteris sine illa. Si enim tubo eadem vitra inseras, nempe primum* 5, *secundum digitorum* 10, *primoque imponas muscam aut quodcunque objectum minutum, tum illud soli obvertas, ut transmittatur solis radius in opposito pavimento, habebis illius objecti imaginem. Nam solis radius idem praestat quod lumen a sole reflexum.* Da er nun p. 696 schreibt: *hoc anno* 1665, so scheint aus dem ganzen Zusammenhange soviel hervorzugehen, dass er bereits in diesem Jahre mit der Benutzung der Laterna magica als Sonnenmikroskop vertraut war.

Digitized by Google

ein solches Instrument verfertigt. Lieberkühn hat es bei George Clifford und bei Hendrik de Raad in Amsterdam gesehen, lange bevor er sich nach England begab; er machte dasselbe nach, zeigte es auf seinen Reisen verschiedenen Gelehrten und galt dann als der Erfinder*).

Das Sonnenmikroskop Lieberkühn's, also auch Fahrenheit's, war wenigstens in Einer Beziehung unvollkommener als die früheren Instrumente; es hatte keinen Spiegel, und musste deshalb immer der Sonne zugekehrt werden, was natürlich nicht so leicht war. Dnrch den englischen Instrumentenmacher Cuff wurde der Spiegel hinzugefügt, oder richtiger wieder eingeführt.

Ich habe nun die mancherlei erfundenen Sonnenmikroskope anzuführen; die erläuternden Abbildungen glaubte ich aber nm so eher weglassen zu dürfen, da die Bildmikroskope für die eigentliche Wissenschaft immer nur eine sehr untergeordnete Bedentung haben werden.

Die ersten Sonnenmikroskope hatten eine hölzerne Platte; die Drehbewegung des Spiegels geschah durch eine Schnur, die in der Rinne jener Scheibe verlief, auf welche der Spiegel befestigt war, und höher oder tiefer wurde derselbe je nach dem Stande der Sonne mittelst eines dicken Messingdrahtes gestellt, der durch eine Oeffnung der Scheibe ging nnd mit einem kleinen beweglichen Arme am Spiegel verbunden war. Zur Vergrösserung benutzte man das Wilson'sche einfache Mikroskop.

Einige Jahre später, als das Sonnenmikroskop mehr Eingang gefunden hatte, wurden diese Bewegungen verbessert. Man machte die Platte und die bewegliche Scheibe von Messing, und die letztere bekam Zähne, so dass sie durch eine Schraube ohne Ende umgedreht werden konnte. Diese Einrichtung findet sich an den Sonnenmikroskopen des Johannes Paauw in Leyden, die man bei Musschenbroek (*Introductio ad philosophiam naturalem.* Lugd. Bat. 1762, p. 790. Tab. XIV, Fig. 7) abgebildet findet, desgleichen an dem Instrumente von Wieden-

*) Diese Angaben stützen sich auf eine Anmerkung in der holländischen Uebersetzung von Baker's *Microscope made easy*, worin der Uebersetzer (und Herausgeber?) den Angaben Baker's, dass Lieberkühn der Erfinder sei, die angegebenen Thatsachen entgegenstellt. Es genügt aber diese Anmerkung wohl zum Beweise, dass Lieberkühn nur nach dem Muster von Fahrenheit sein Sonnenmikroskop verfertigte, welches er dann als der Erste auf seinen Reisen vorzeigte, wodurch sich die Ansicht verbreitete, dass er auch der Erfinder sei. Jene holländische Uebersetzung ist im Jahre 1744 erschienen, also wenige Jahre nach dem Zeitpunkte, auf welchen die Erzählung hinweist, wo wahrscheinlich die meisten der erwähnten Personen, mit Ausnahme Fahrenheit's, noch am Leben waren, so dass also an eine absichtliche Erfindnng nicht wohl zu denken ist. Zudem hat der Verfasser jener Anmerkung nur günstige Gesinnungen gegen Lieberkühn, indem er ihm eben darin mit Unrecht die Erfindung der reflectirenden Spiegelchen zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte zuschreibt. Uebrigens sei hier bemerkt, dass Lieberkühn selbst nirgends in Schriften sich für den Erfinder des Sonnenmikroskopes ausgegeben hat.

Digitized by Google

burg (*Beschreibung eines verbesserten Sonnenmikroskops.* Nürnb. 1758). Letzterer verfertigte und beschrieb auch einen Apparat, um statt der Sonne ein Kerzenlicht verwenden zu können; das ist aber nichts anderes als eine sorgfältig gearbeitete Laterna magica. Sonderbarer Weise schreibt er S. 7: Die erste Erfindung des Sonnenmikroskopes sind wir wohl den Engländern schuldig, gleichwohl aber haben es die Deutschen ungleich stark verbessert. Freilich nennt er aber auch S. 4 den Borellus unter jenen, denen die Erfindung des Mikroskopes zugeschrieben wird.

Inzwischen erkannte man auch, dass das Sonnenmikroskop bei be- 82
sonderer Einrichtung recht gut dazu dienen kann, Zeichnungen mikroskopischer Objecte zu machen. Dahin gehört die Einrichtung von G. F. Brander (*Kurze Beschreibung einer ganz neuen Art einer Camerae obscurae, ingleichen eines Sonnenmikroskops, welches man bequem aller Orten hinstellen und ohne Verfinsterung des Zimmers gebrauchen kann.* Augsb. 1767), nämlich ein viereckiger pyramidenförmig zulaufender Kasten, an dessen schmaler Seite das Mikroskop mit den Linsen und dem dazwischen gebrachten Objecte befindlich war, während das vergrösserte Bild auf der entgegengesetzten Seite durch einen schief stehenden Spiegel auf ein horizontales mattes Glas reflectirt wurde. Die Sonnenstrahlen wurden durch keinen Spiegel aufgefangen und musste der ganze Kasten der Sonne zugekehrt werden. Die Mitte des Kastens hing daher zwischen zwei senkrecht stehenden Säulen, so dass er mittelst einer Schnur, die um eine unten befindliche Scheibe lief, unter verschiedenen Winkeln geneigt werden konnte.

In Ledermüller's *mikroskopischen Belustigungen* (III, Taf. 21. IV, Taf. 7) ist ein solcher Apparat von Gleichen's und ein zweiter von Burucker in Nürnberg beschrieben. Ebenso verband Martin (*Description and Use of an opake Solar Microscope*, 1774) sein Sonnenmikroskop mit einer Camera obscura. Weiterhin kommen wir noch auf einige derartige Einrichtungen aus der neueren Zeit.

Eine etwas andere Einrichtung hat das im Jahre 1771 erfundene Lampenmikroskop von Adams (*Essays on the Microscope.* 2 Ed. 1798, p. 64), welches durch dessen Sohn Jones weiterhin verbessert wurde; zum Theil sollte es dem nämlichen Zwecke dienen, dem Zeichnen mikroskopischer Gegenstände. Es besteht aus einem horizontal liegenden, viereckigen, pyramidalen Holzkasten, der auf einem langen Messingstabe ruht. Das Ganze wird von einem passenden Fussstücke getragen. An dem einen Ende des Messingstabes befindet sich der vertical stehende Objecttisch mit den Linsen, wodurch das Licht einer Argand'schen Lampe auf das Object concentrirt wird. Der hölzerne Kasten hat an dem einen Ende ein Rohr zum Anschrauben der Linsen, die das vergrösserte Bild geben; am breiten Ende des Kastens aber ist in verticaler Stellung ein

Digitized by Google

mattgeschliffenes Glas angebracht, worauf das Bild aufgefangen wird. Die Linse wird dem Objecte durch einen Trieb und eine Schraube ohne Ende genähert, wodurch der ganze Kasten hin- und herbewegt wird.

Später wurden mehrere Verbesserungen in der mechanischen Einrichtung dieses Apparates vorgenommen, und er wurde auch zur Beobachtung undurchsichtiger Objecte eingerichtet.

83 Auch das Sonnenmikroskop selbst erfuhr um diese Zeit Verbesserungen, indem mehrere Apparate zur Beobachtung undurchsichtiger Objecte hinzugefügt wurden.

Lieberkühn soll bereits ein Instrument für undurchsichtige Objecte eingerichtet haben; wenige Wochen vor seinem Tode hat es Aepinus (*Nov. Comment. Ac. Petrop.* IX, p. 316) bei ihm gesehen, doch konnte sich dieser späterhin nicht mehr auf seine Einrichtung besinnen.

Im Jahre 1750 machte Euler (*Nov. Comment. Ac. Petrop.* III, p. 363) einige Verbesserungen an der Laterna magica und am Sonnenmikroskope bekannt, die auf die Beleuchtung undurchsichtiger Objecte Bezug hatten. Er empfiehlt für die Laterna magica zwei elliptische Hohlspiegel, die dergestalt vor das Object kommen sollen, dass sich die Lampe in dem einen Brennpunkte des Spiegels befindet, das Object aber in dem andern Brennpunkte. Beim Sonnenmikroskope schlägt er vor, eine Linse dergestalt in schiefer Richtung vor das Object und seitlich von demselben zu bringen, dass die durch einen Spiegel aufgefangenen Sonnenstrahlen auf das Object concentrirt werden. Ich weiss nicht, ob diese von Euler vorgeschlagenen Verbesserungen wirklich zur Ausführung gekommen sind, etwa durch Häseler (*Verbesserung der Sonnenmikroskope, der Zauberlaterne und Camera obscura nach Euler.* Holzminden 1779), dessen Schrift ich nicht habe einsehen können.

Im Jahre 1763 beschrieb Aepinus (*Nov. Comment. Ac. Petropol.* IX, pag. 316) einen Apparat zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte mit dem Sonnenmikroskope. Das Wesentliche dabei war, dass am gewöhnlichen Sonnenmikroskope eine Einrichtung angebracht wurde, wodurch das Licht, welches durch die hinter dem Objecte befindliche Linse bereits concentrirt war, von einem ebenen kreisförmigen Spiegelchen aufgefangen wurde, das sich in einer etwas schiefen Stellung vorderhalb und zur Seite des Objects befand und das Licht auf das Object selbst reflectirte.

Ein Jahr später erst beschrieb Zeiher (*Nov. Comment. Ac. Petrop.* X, p. 299) zweierlei Einrichtungen der Art. Aepinus giebt aber selbst an, dass diese Zeiher'schen Einrichtungen bereits bekannt waren, als er die seinige beschrieb. Die eine Einrichtung von Zeiher ist nur für grössere Objecte, wie etwa Münzen, bestimmt: die durch die Beleuchtungslinse concentrirten Strahlen fallen in schiefer Richtung auf eine Ob-

Digitized by Google

jecttafel, die mit der Axe des Instrumentes einen Winkel von 37° bis 38° bildet. Bei der anderen Einrichtung für kleinere Objecte wird das Licht durch einen durchbohrten Hohlspiegel auf die Oberfläche des Objects concentrirt. Sonnenmikroskope mit einer derartigen mechanischen Einrichtung sind von Hendrik Heu in Amsterdam gefertigt worden, von dessen zusammengesetztem Mikroskope oben (S. 127) die Rede war.

Im Jahre 1774 beschrieb Benjamin Martin (*Description and Use of an opake Solar Microscope.* Lond. 1774) sein Sonnenmikroskop für undurchsichtige Objecte, dessen Einrichtung mit geringen Veränderungen bis auf den heutigen Tag vielfach in Gebrauch geblieben ist. Sie stimmt in der Hauptsache mit Aepinus, denn die Beleuchtung wird durch einen ebenen Spiegel bewirkt, der in schiefer Richtung vorderhalb und zur Seite des Objectes steht und das durch die Objecttivlinse bereits concentrirte Licht auf das Object reflectirt. Nur ist der Martin'sche Spiegel viel grösser und in einen besonderen vierseitigen Kasten eingeschlossen, der am Körper des Mikroskopes angeschraubt wird.

Vor mehreren Jahren beschrieb Pritchard (*Micrographia*, p. 189) das Verfahren eines Amerikaners, den er aber nicht nennt. Statt Einer Beleuchtungslinse werden deren vier genommen und kreisförmig gestellt, und die hierdurch concentrirten Lichtbündel werden von vier Spiegeln aufgefangen, die in schiefer Richtung vor dem Objecte angebracht sind. Indessen ist diese Einrichtung wohl allzu complicirt, als dass sie befriedigen könnte. Die Einrichtung, der Pritchard selbst den Vorzug giebt, ist offenbar die schon beschriebene Zeiber'sche.

Endlich schlug Brewster (*Treatise on the Microscope*, 1837, p. 114) vor, statt der Objectivlinse einen durchbohrten Hohlspiegel zu nehmen. Das Object kann alsdann auf gewöhnliche Weise durch die Beleuchtungslinse an der Hinterseite, die der Concavität des Spiegels zugekehrt ist, beleuchtet werden, und der Hohlspiegel kann als katoptrisches Objectiv dienen, um das Bild zu erzeugen.

Inzwischen blieb das Sonnenmikroskop mit den nämlichen Mängeln behaftet, wie die übrigen dioptrischen Instrumente. Freilich schlug Aepinus 1763 Doublets statt der einfachen Linsen vor, wobei er offenbar durch Euler's Abhandlung über die Verbesserung des einfachen Mikroskopes geleitet wurde, und Martin empfahl einige Jahre später die Benutzung achromatischer Linsen; allein keiner dieser beiden Vorschläge scheint damals zur Ausführung gekommen zu sein. Brewster suchte 1813 das Princip, welches er behufs der Achromatisirung des zusammengesetzten Mikroskopes in Anwendung gebracht hatte (S. 137), auch auf das Sonnenmikroskop zu übertragen. Sein Apparat bestand aus einem kurzen horizontalen Rohre mit einer Oeffnung an der oberen Seite: an dem einen Ende dieses Rohres befand sich eine planconvexe Objectivlinse 84

mit der convexen Seite nach aussen, das andere Ende derselben aber war durch ein ebenes Glas geschlossen. Nun wurde das Rohr mit einer Flüssigkeit gefüllt und in diese das Object gesenkt, welches auf gewöhnliche Weise durch einen Spiegel und eine Linse beleuchtet wurde. Es braucht wohl kaum darauf hingewiesen zu werden, wie höchst unvollkommen diese Einrichtung war und dass sie nur in wenigen Fällen wirklich in Anwendung kommen konnte. Später belehrte dann Robison (Goring und Pritchard, *Micrographia*, p. 170), welche Vortheile es hat, wenn statt der gewöhnlichen Objectivlinse das aus zwei Gläsern zusammengesetzte Ocular von Ramsden benutzt wird. Dollond versah seine Sonnenmikroskope mit einem Objective, welches gleich den Wollaston'schen Doublets aus zwei planconvexen Linsen bestand, und Coddington brachte seine rinnenförmig ausgehöhlten Linsen ans Sonnenmikroskop (*Micrographia*, p. 183).

Nachdem aber das zusammengesetzte Mikroskop aplanatische Linsensysteme bekommen hatte, war es sehr natürlich, dass man dergleichen auch beim Sonnenmikroskope in Anwendung brachte. Ch. Chevalier ging hierin voran und man folgte ihm bald allgemein nach, so dass alle neueren Sonnenmikroskope aplanatische Objective haben, die sich nur darin von den Objectiven im gewöhnlichen zusammengesetzten Mikroskope unterscheiden, dass die Kron- und Flintglaslinsen nicht durch Canadabalsam unter einander verbunden sind, denn durch die Wärme, denen sie ausgesetzt sind, würde dieses Verbindungsmittel bald getrübt werden.

85 Die Sonnenmikroskope, wie sie gegenwärtig von verschiedenen Optikern zu beziehen sind, unterscheiden sich nur wenig in der mechanischen Einrichtung, weshalb eine allgemeine Beschreibung ausreichend sein wird.

Alle Theile sind aus Messingblech gearbeitet. Die vierseitige Platte, welche mit zwei oder vier Schrauben in die Oeffnung des Ladens befestigt wird, muss dick und schwer sein. In ihr dreht sich mittelst eines gezahnten Rades, oder noch besser mittelst einer Schraube ohne Ende eine Scheibe herum, welche in die Zähne greift, womit der halbe Umfang des Scheibenrandes versehen ist, so dass eine halbe Umdrehung von 180° stattfinden kann. An der Hinterseite der Scheibe befindet sich der Spiegel, den man gegenwärtig mit Recht viel breiter und länger macht, als es in früherer Zeit zu geschehen pflegte. (Doch nahm Hendrik Hen in Amsterdam bereits sehr grosse Spiegel für seine Sonnenmikroskope. Bei einem Instrumente aus dem Anfange dieses Jahrhunderts fand ich einen Spiegel von 0,5 Meter Länge und 0,2 Meter Breite bei 0,19 Meter Durchmesser der Beleuchtungslinse.) Der Rahmen des Spiegels ist durch ein Charnier mit der Scheibe verbunden, und den Neigungswinkel des Spiegels zu verändern dient ein gezahntes Rad, dessen Knopf an der Innen-

Digitized by Google

fläche der Scheibe herauskommt. In die kreisförmige Oeffnung der Scheibe passt das kegelförmig zulaufende Rohr, worin die Beleuchtungslinse steckt, die in der Regel biconvex ist. Goring (*Micrographia*, p. 84) nahm dazu eine grosse achromatische Linse, die allerdings vortheilhaft sein kann, jedoch den Apparat weit kostbarer macht, wenn auch das dazu benutzte Flintglas nicht ganz so ausgesucht und frei von Streifen zu sein braucht, als wenn es zu einem Fernrohrobjective von gleicher Grösse genommen wird. Der Apparat ist ferner so eingcrichtet, dass das Object, jenachdem das Rohr verlängert oder verkürzt wird, in einen breiteren oder schmäleren Theil des Strahlenkegels gebracht werden kann, oder es gehören noch ein Paar andere Beleuchtungslinsen von kürzerer Brennweite dazu, die man temporär in die Bahn der Strahlen bringen kann, um diese dann mehr oder weniger convergirend zu machen. Zum Fixiren der Objecte sind zwei Platten bestimmt, deren eine beweglich ist und durch eine Spiralfeder an die andere angedrückt wird. Mit der feststehenden Platte ist eine vierseitige Stange verbunden, an der sich mittelst eines Triebes ein Stab bewegt mit einem Qnerarme am Ende, der wiederum in einen Ring zum Aufschrauben der Linsen oder Linsensysteme ausläuft. Der letztgenannte Theil des Apparates stimmt daher ziemlich mit der Einrichtung der meisten neueren einfachen Mikroskope überein und er ist an die Stelle des früher gebräuchlichen Wilson'schen Mikroskopes getreten.

Dem Sonnenmikroskope können in gleicher Weise wie dem zusammengesetzten Mikroskope mehr oder weniger viele Linsensysteme beigegeben sein, desgleichen eine grössere oder geringere Anzahl von Hülfswerkzeugen für verschiedenartige Beobachtungen. Danach wechselt natürlich auch der Preis, so dass sie bei Charles Chevalier in Paris mit 320 bis 500 Francs, bei Lerebours in Paris mit 180 bis 320 Francs, bei Simon Plössl in Wien mit 176 Gulden Conv.-M., bei Pistor und Martins in Berlin mit 60 bis 150 Thaler, bei Pritchard in London mit 5 Pfd. 5 Sch. bis 38 Pfd. notirt waren. Auf den neueren Preiscouranten stehen sie jedoch nur noch selten.

Neben einzelnen Linsen oder Linsensystemen können noch andere 86
optische Hülfsmittel zur Erzeugung eines vergrösserten Bildes benutzt werden. Goring nahm ein vollständiges zusammengesetztes achromatisches Mikroskop; die Bilder waren dann nicht blos vergrössert, sondern auch verkehrt (I, §. 144). Er versuchte auch sein katadioptrisches Mikroskop (Fig. 132) auf diese Weise zu benutzen, jedoch ohne Erfolg, während dagegen einer seiner Freunde, welcher nur die dazu gehörigen Spiegelchen anwendete, mit der Wirkung sehr zufrieden gewesen sein soll (*Micrographia*, p. 97). Ebenso räth Brewster (*Treatise*, p. 112), sein katoptrisches Objectiv (Fig. 137) statt der gewöhnlichen dioptrischen Objective zu nehmen. Es ist jedoch sehr unwahrscheinlich, dass dieses oder

irgend eine andere katoptrische Einrichtung jemals den jetzt gebräuchlichen Linsensystemen den Vorrang ablaufen werde.

87 Ich habe schon vorhin (S. 283) einiger Einrichtungen aus dem vorigen Jahrhunderte gedacht, um das Bildmikroskop fürs Zeichnen der durch dasselbe erzeugten Bilder nutzbar zu machen. Auch in neuerer Zeit hat man noch dafür bestimmte Apparate hergestellt.

Dahin gehört zunächst der im Jahre 1822 von Vincent und Charles Chevalier gearbeitete Apparat, dessen Einrichtung ich jedoch nicht kenne, sowie ein anderer Apparat, den Charles Chevalier (l. l. p. 40) einige Jahre später nach den Anweisungen von Percheron und Lefèbre verfertigte, und der von ihnen als Megagraph bezeichnet wurde. Das Megagraph soll nur bei 5- bis 25maliger Vergrösserung benutzt werden, und es genügt deshalb eine Lampe zur Beleuchtung. Auf Chevalier's Preiscourant stand es mit 200 Francs.

Ein anderer Apparat der Art, dessen Einrichtung ich aber auch nicht kenne, ist im Jahre 1827 von Schilling in Breslau geliefert worden.

Dagegen erhielten wir 1837 von Goring (*Micrographia* 1837, p. 84) eine ausführliche und durch Abbildung erläuterte Beschreibung eines solchen Apparates. In der runden Oeffnung eines starken hölzernen Rahmens oder Schirms, der vertical auf vier Füssen steht, wird das Sonnenmikroskop befestigt, ganz so, wie es in einem Fensterladen befestigt zu werden pflegt. Der Schirm kommt so zu stehen, dass die Sonne den Spiegel bescheint, der übrigens auf die gewöhnliche Weise sich bewegt. Die ganze übrige Einrichtung des Mikroskopes ist wie bei anderen Sonnenmikroskopen; nur wird statt eines einzelnen Objectives das Rohr eines zusammengesetzten Mikroskopes genommen, das mit Objectiv und Ocular versehen ist. Das Rohr gleitet in einem zweiten Rohre, und dieses ist an jenen Theil des Apparates geschraubt, der den Objecttisch und den federnden Apparat enthält. Zum Auffangen des Bildes dient ein dunkler Raum, nämlich ein hölzerner Kasten, auf dem oben eine kegelförmig zulaufende Kapsel aufsitzt; diese hat an der Spitze eine seitliche Oeffnung, und vor dieser steht ein ebener Metallspiegel unter einem Winkel von 45° oder noch besser ein rechtwinkeliges gläsernes Prisma *). Die Oeffnung kommt dem Oculare gerade gegenüber, so dass das Strahlenbündel, von dem sonst ein verticales Bild entstanden sein würde, sich nun unter einem rechten Winkel umbiegt und auf dem horizontalen Boden des Kastens ein

*) Goring empfiehlt, die spiegelnde Oberfläche dieses Prisma mit Folie zu belegen, was aber ganz unnöthig ist. Uebrigens hatte Chevalier schon früher bei seinen Sonnenmikroskopen ein solches Prisma, um dadurch das Bild auf einer horizontalen Fläche aufzufangen.

Bild erzeugt. Dieser Boden ist übrigens mit Gyps bedeckt und hat eine convexe Oberfläche für das gekrümmte Bild. Um letzteres betrachten zu können, hat der Kasten oben und einander gegenüberstehend zwei mit kleinen Rahmen versehene Oeffnungen, so dass zwei Beobachter auf Einmal hindurchsehen können. Die seitlichen Wände des Kastens lassen sich wegnehmen, damit der Beobachter das Bild zeichnen kann; nur muss er, um das Licht abzuhalten, den Kopf mit einem Schirme bedecken.

Benutzt man ein gewöhnliches Sonnenmikroskop zum Auffangen des zu zeichnenden Bildes, so ist diese Goring'sche Einrichtung ganz zweckmässig; nur fällt es immer schwer, die Beleuchtung zu reguliren, besonders wenn der Beobachter in einiger Entfernung vom Schirme und vom Spiegel damit beschäftigt ist, die in der dunkelen Kammer sich zeigenden Bilder zu zeichnen. Man würde freilich auch hier, wie bei der gebräuchlichen Benutzung des Sonnenmikroskopes, die Beleuchtung durch einen Heliostaten reguliren können; nur ist ein solches Instrument an und für sich sehr kostbar. Einfacher und dem Zwecke ebenso gut entsprechend erachte ich die Einrichtung, die ich selbst (*Bulletin des Sc. phys. et natur. en Neerlande* 1839, p. 353) unter dem Namen des tragbaren Sonnenmikroskopes beschrieb und durch eine Abbildung erläuterte. Damals benutzte ich dazu ein einfaches Mikroskop nach Wollaston's Construction (Fig. 35), jedoch mit einem weit dickern Rohre von 4 Centimeter Durchmesser. Darin steckt eine Beleuchtungslinse, die sich höher und tiefer stellen lässt, und die das Licht, welches sie von einem flachen Spiegel empfängt, auf das Object concentrirt. Als Objective wurden bei stärkeren Vergrösserungen statt der Linsen auch Glaskügelchen genommen. Der untere Theil des Mikroskoprohres ist am Ende der einen Klaue des Dreifusses angeschraubt; in der Mitte des letzteren aber befindet sich eine vierseitige Stange, die durch ein unten angebrachtes Charnier bis zu einem gewissen Punkte nach hinten übergeneigt werden kann. An dieser Stange kann sich ein Querarm in horizontaler Richtung mittelst eines Stiftes drehen, der in eine Oeffnung an der Spitze der Stange passt und darin durch eine Klemmschraube befestigt wird. Am Ende des Armes befindet sich ein Ring, um das cylindrische Unterende einer nach oben sich kegelförmig erweiternden Blechröhre aufzunehmen, die innen und aussen schwarz angestrichen ist und oben einen Rand für eine mattgeschliffene Glasplatte hat. Um das Licht abzuhalten, ist im cylindrischen Theile dieser Röhre ein Ring angebracht, der als Diaphragma dient. Beim Gebrauche wird die Stange nach hinten gebogen und der Arm mit der darin befindlichen Röhre etwas zur Seite gedreht, damit diese dem Kopfe nicht im Wege steht. Auf diese Weise wird das einfache Mikroskop ganz frei und man kann damit auf gewohnte Art beobachten. Hat man dann ein Object ins Gesichtsfeld gebracht, dessen Bild auf der matten Glasplatte aufgefangen werden soll, so bekommt der Spie-

gel eine Stellnug, dass er das Sonnenlicht durch die Beleuchtungslinse auf das Object wirft; hierauf stellt man die Stange vertical und dreht sich den Arm zu, bis die untere Oeffnnng der Röhre über die vergrössernde Linse kommt. Wird jetzt durch einen Schirm von dichtem schwarzen Stoffe das Licht abgehalten, so sieht man das Bild auf der Glasplatte und kann dasselbe messen oder zeichnen. Da sich aber die Beleuchtung nach Maassgabe der Bewegung der Sonne ändert, so muss der Spiegel von Zeit zu Zeit etwas verrückt werden.

Dieser Apparat empfiehlt sich namentlich deshalb, weil das einfache Mikroskop rasch in ein Sonnenmikroskop umgewandelt werden kann. Auch hat das Bild bei 700maliger Vergrösserung noch hinreichende Lichtstärke, wenngleich der Durchmesser des Spiegels und der Linse nicht mehr als 3,5 Centimeter beträgt.

Für das Messen von Objecten ist diese Einrichtung ganz zweckentsprechend; weniger brauchbar ist sie dagegen zum Zeichnen, weil hierzu eine grössere Unbeweglichkeit der Glasplatte verlangt wird, als auf die beschriebene Weise zu erlangen ist. Aus diesem Grunde habe ich späterhin das aus zwei Hälften bestehende Gestell anfertigen lassen, von dem früher (II, S. 279) die Rede war; das Rohr ist hier unbeweglich eingeklemmt und das Ganze hat hinreichende Festigkeit zum Aufstützen der Hand.

Statt des einfachen Mikroskopes benutze ich jetzt auch am liebsten ein zusammengesetztes Mikroskop mit achromatischen Linsen, das mit einem ebenen Spiegel und einer Beleuchtungslinse ausgestattet ist; nur passen nicht alle zusammengesetzten Mikroskope dazu. Manche sind zu hoch, und das kegelförmig darüber zu setzende Rohr müsste sehr kurz sein, so dass nur ein kleines Gesichtsfeld und eine nur mässige Vergrösserung zu Stande käme; denn wäre das Rohr länger, dann käme die Glasplatte zu hoch und das Bild liesse sich nicht mehr gut zeichnen. Mit bestem Erfolge benutze ich das Amici'sche Mikroskop (Fig. 89), dessen Rohr auf die Hälfte verkürzt worden ist. Auch die Mikroskope von Oberhäuser, von Nachet, von Kellner und von Anderen sind dazu brauchbar, namentlich wenn das Rohr durch Einschieben verkürzt werden kann. Dieses Einschieben gestattet nicht blos, das Rohr bis auf die passende Länge herabzubringen, es verbindet sich damit auch noch der Vortheil, dass das innere Rohr, wenn das Mikroskop unter der Oeffnung der Röhre befindlich ist, etwas nach oben rückt und nun das Ocular in den cylindrischen Theil kommt, wodurch das von unten kommende Licht von selbst ganz ausgeschlossen wird.

Ich will ein Paar Beobachtungen mittheilen, aus denen erhellt, dass die mittelst dieses Apparates auf einer mattgeschliffenen Glasplatte erhaltenen Bilder eine grosse Schärfe besitzen. Die benutzten Objective

nnd Oculare gehören zu dem auf S. 170 ausführlich besprochenen **Amici'**schen Mikroskope.

Objectiv.	Brennweite.	Ocular.	Vergrösse-rung.	Nobert's Probetäfelchen.
Nr. 7	8,7mm	Nr. 2	150	Dritte Gruppe deutlich.
6	4,0	2	320	Fünfte Gruppe deutlich.
11	2,7	2	500	Siebente Gruppe deutlich.

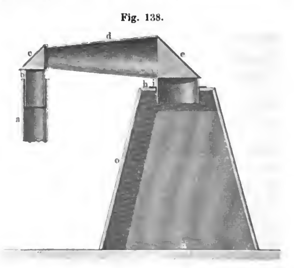
Der früher beschriebene kleine Arbeitstisch (II, Fig. 3) kann auch zu dem nämlichen Zwecke benutzt werden. Der grosse Spiegel *e* wird weggenommen und durch ein Mikroskop ersetzt, damit das Bild auf ein mattgeschliffenes Glas in der vierseitigen Oeffnung *f* fällt, oder auf ein mit Terpentinöl getränktes Papier, falls es nachgezeichnet werden soll. Um das Licht abzuhalten, bringt man auf das Ocular einen aus Pappe verfertigten, innen schwarz angestrichenen Kegel, dessen obere weite Oeffnnng bis zur Glasplatte reicht. Das von oben einfallende Licht wird, gleichwie bei der vorigen Einrichtung, durch einen um den Kopf hängenden Schirm abgehalten. Bei schwachen Vergrösserungen genügt aber schon ein halb cylinderförmig gebogenes Stück Pappe von etwa 20 Centimeter Höhe, dessen convexe Seite dem Fenster zugewandt ist.

In der Hauptsache stimmt damit jene Einrichtnng, welche **Derbey** im Jahre 1847 der Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Aachen (*Amtlicher Bericht* S. 176) vorlegte. Etwas abweichend ist die Einrichtung, welche **d'Alton** daselbst mittheilte. Ein zusammengesetztes Mikroskop nämlich wird vollständig umgekehrt, so dass das Rohr unten, der Objecttisch und der Beleuchtungsapparat dagegen oben befindlich ist. Das Bild entsteht dann auf dem Tische, worauf das Instrument steht. **Derbey** sowohl wie **d'Alton** entfernten das Ocular und benutzten blos das Objectiv zur Erzeugung des Bildes.

In Fig. 138 (a. f. S.) bringe ich den Durchschnitt eines Zeichnnngsapparates, der zwar meines Wissens noch nicht zur wirklichen Ausführung gekommen ist, gegen dessen praktische Brauchbarkeit mir aber kein Bedenken kommt. Hier ist *a* das Rohr eines zusammengesetzten Mikroskopes, dessen Ocular weggenommen wurde, und darin bewegt sich ohne allen Anstoss das kurze Rohr *b*, über dem das rechtwinkelige Prisma *c* angebracht ist. Durch ein kegelförmiges Rohr *d* steht dieses Prisma mit einem zweiten rechtwinkeligen Prisma *e* in Verbindung, das etwa doppelt so gross ist als das erste. Der Rahmen für das Prisma *e* läuft nach nnten in das Rohr *i* aus, woran sich die breit vorspringende ringförmige Leiste *h* befindet. Die vierseitige dunkele Kammer *o*, aus Holz gefertigt, steht zur Seite des

Mikroskopes auf dem Tische; sie hat oben eine kreisförmige Oeffnung für das Rohr *i*, welches durch seine rechtwinkelig vorspringende Leiste auf

Fig. 138.



Durchschnitt eines Apparates zum Zeichnen.

der dunkelen Kammer aufliegt. Uebrigens ist die dem Beobachter zugekehrte Seite der dunkelen Kammer offen; sie wird durch den Schirm geschlossen, den derselbe beim Beobachten über den Kopf hängt. Der ganze Apparat muss natürlich bequem eingesetzt und wieder weggenommen werden können.

Gesetzt nun, mit dem zusammengesetzten Mikroskope sei ein Object ins Gesichtsfeld gebracht, das man abzuzeichnen wünscht, so wird man das Ocularrohr wegnehmen, die dunkele Kammer *o* neben das Mikroskop stellen, und den Apparat *bcdeih* so aufsetzen, dass *b* in das Mikroskoprohr kommt und *i* in die obere Oeffnung der dunkelen Kammer. Der Apparat lastet wesentlich auf dem hölzernen Kasten, und das Rohr *b* muss, ohne zu reiben, sich spielend im Mikroskoprohre bewegen; man kann aber auch noch die Schraube zur feinen Einstellung benutzen, wie beim gewöhnlichen Mikroskope. Wird jetzt mittelst des Spiegels und einer darüber angebrachten Linse Sonnenlicht ins Gesichtsfeld gebracht, so lässt sich das Bild des Objectes auf einem Blatte Papier bei *n* auffangen.

Ich würde den Apparat am liebsten so einrichten, dass die gesammte, von den Strahlen durchlaufene Strecke, also vom Objective bis nach *c*, von *c* nach *e*, von *e* nach *n*, etwa 1 Meter beträgt. Das bei *n* aufs Papier treffende Bild ist dann ziemlich gleichviel vergrössert, wie mittelst eines Oculars von mässiger Stärke.

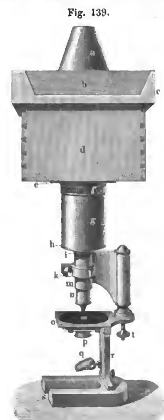
Digitized by Google

Ein solcher Apparat würde freilich mehr kosten, als der früherhin von mir beschriebene; das würde aber wohl aufgewogen werden durch grössere Schärfe des Bildes auf dem Papiere, das man dann auch in der nämlichen Haltung, worin man zu zeichnen gewohnt ist, mit der Bleifeder umreisst.

Schliesslich habe ich noch mitzutheilen, dass J. B. van den Broek in Arnhem im Jahre 1844 ebenfalls eine Einrichtung beschrieb und abbildete (*Natuurkunde, Tydschrift* 1844. I, p. 1), welche den Zweck hat, eine Camera obscura mit Martin's Sonnenmikroskop für undurchsichtige Objecte in Verbindung zu setzen.

Schon alsbald nach Erfindung der Daguerreotypie suchte Berres in 88
Wien dieselbe beim Sonnenmikroskope in Anwendung zu bringen, besonders aber gaben sich Donné und Léon Foucauld in Paris darin grosse Mühe, und des Erstern *Atlas d'Anatomie microscopique*, welcher 1844 erschien, enthielt bereits daguerreotypische Abbildungen. Ferner soll Carpenter 1847 in der Versammlung der *British Association* sehr schöne photographische Abbildungen mikroskopischer Gegenstände vorgelegt haben.

Fig. 139.



Photographisches Mikroskop von Gerlach.

So lange indessen die Daguerreotypie und die Photographie auf Papier die einzigen bekannten Methoden waren, liess sich für das Mikroskop nicht viel davon erwarten. Seitdem aber die mit Collodium bestrichene Glasplatte in Gebrauch gekommen ist, hat die mikroskopische Photographie allgemeineren Eingang gefunden, worüber bereits früher (II. S. 282) Ausführlicheres mitgetheilt worden ist.

Bereits ist eine ziemliche Anzahl Apparate zur mikroskopischen Photographie anempfohlen worden, die ich aber nicht alle hier zu beschreiben gedenke. Das Gemeinsame dabei ist: entweder ein einfaches Mikroskop mit achromatischen Lin-

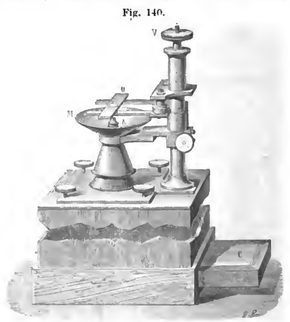
Digitized by Google

sensystemen, oder aber ein zusammengesetztes Mikroskop setzt man in Verbindung mit einer dunkelen Kammer, die ziemlich die nämliche Einrichtung hat, wie jene, deren man sich beim Photographiren nicht vergrösserter Objecte bedient. Der ganz einfache Apparat, dessen ich mich bediene, wurde bereits im zweiten Bande S. 286 beschrieben und abgebildet.

Das photographische Mikroskop Gerlach's (Fig. 139 a. v. S.) hat ein Oberhäuser'sches Hufeisenstativ. Das Ocular ist weggenommen, und über dem Mikroskoprohre, durch eine hölzerne Röhre damit in Verbindung stehend, ist die dunkele Kammer angebracht. Auf der Visirscheibe aber steht ein hohler Kegel. Belthle liefert das Ganze um 40 Thaler, und ohne die optische Einrichtung um 20 Thaler.

Eine andere Einrichtung hat das photographische Mikroskop von Nachet (Fig. 140). Das Bild kommt auf den Boden eines als dunkele

Fig. 140.



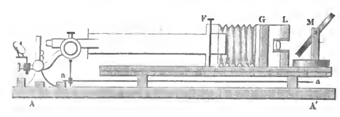
Photographisches Mikroskop von Nachet.

Kammer dienenden Kastens, wo der Schieber *C* die sensibele Glasplatte aufnimmt. Es können so auch undurchsichtige Objecte photographirt werden, deren Beleuchtung durch den grossen Hohlspiegel *M* zu Stande kommt. Das Object liegt bei *O* auf zwei festen Glasarmen. Zur Beleuchtung durchsichtiger Objecte mit Sonnenlicht dient ein Spiegel und ein

Condensator, die nicht mit abgebildet sind. Der Kasten hat oben eine Oeffnung für ein kleines Fernglas, damit das Bild mittelst des Knopfes *V* richtig eingestellt werden kann. Das Ganze kostet 300 Francs. Nachet liefert aber auch um 80 Francs die dunkele Kammer, die man mit einem horizontal gestellten Nachet'schen Mikroskope in Verbindung setzen kann.

Durch den in Fig. 141 dargestellten photographischen Apparat des amerikanischen Professors O. N. Rood (Troy, N. Y.), welcher im *Quart.*


Fig. 141.



Photographisches Mikroskop von O. N. Rood.

Journ. 1862. N. Ser. VIII, p. 261 beschrieben wurde, ist auf zweckmässige Weise dem Uebelstande begegnet, welcher in der grossen Entfernung des Objectes vom Bilde gelegen ist. Das Ganze ruht auf dem hölzernen Fussstücke *AA'* von 7 Fuss Länge, mit einzelnen Vorsprüngen, wodurch das liegende Mikroskop eine ganz feste Lagerung bekommt. Der Rahmen mit den Glasplatten wird bei *G* eingeschoben. Dahinter bei *L* befindet sich eine Thür, die sich in Bändern dreht, worin eine achromatische Linse mit 2 Zoll Brennweite befindlich ist, wodurch das Bild auf der Glasplatte bei richtiger Einstellung vergrössert wird. Das Mikroskop steht durch ein mit schwarzem Sammet ausgekleidetes Rohr mit der dunkelen Kammer in Verbindung. In letzterer befindet sich vorn bei *F* ein dünner Stab mit einer geschwärzten Platte, um die Abhaltung oder Zulassung des Lichtes zu reguliren. Da der Apparat eine ansehnliche Länge hat, so kann jener, der das Object ins Gesichtsfeld bringt und das Mikroskop einstellt, nicht direct das Bild auf der Glasplatte beobachten; deshalb ist bei *M* ein Spiegel angebracht, der das auf der Glasplatte entstehende Bild reflectirt und dem fernstehenden Beobachter ansichtig macht. Das Thürchen *L* muss offen sein, so lange dieser Spiegel gebraucht wird. Ist aber auf diese Weise das Bild auf der Glastafel so ziemlich eingestellt, so wird der Spiegel weggenommen, das Thürchen geschlossen und mittelst des Stabes *a a*, der durch einen Querarm mit dem Mikroskopknopfe in Verbindung gebracht ist, wird möglichst genau eingestellt, wozu die achromatische Linse in dem Thürchen beiträgt.

Zu mikroskopischen Photographien verwendet A. Moitessier (*La*

Digitized by Google

Photographie appliquée aux recherches micrographiques. Paris, 1866) am liebsten die Objectivsysteme ohne Ocular. Will er eine stärkere Vergrösserung, so henutzt er die nur schwach vergrösserte Photographie als Object für eine zweite stärker vergrösserte Darstellung. Sein Apparat ist einfach und in manchen Beziehungen empfehlenswerth. Er enthält wesentlich ein Kästchen, welches mit dem früher (II, Fig. 103 unter E) abgebildeten Aehnlichkeit hat, dem aber unten ein kurzes Röhrchen angesetzt ist, wodurch es gleich einem Oculare, und an dessen Stelle, unmittelbar mit dem Mikroskoprohre in Verbindung gebracht wird. Da das erhellte Gesichtsfeld hier nur klein ist, so lässt sich in dem Kästchen eine Einrichtung treffen, dass successiv verschiedene Abschnitte der Collodiumplatte ins Gesichtsfeld kommen und das Bild aufnehmen. Dazu braucht die Platte nur auf eine mit Oeffnungen versehene und verschiebbare Unterlage zu kommen, wie Moitessier durch Abbildung zweier Kästchen für je zwei und sechs Proben darthut. Wenn die verschiedenen photographischen Bilder bei variabler Dauer der Lichteinwirkung gewonnen werden, so steht wohl eher zu erwarten, dass wenigstens ein gutes Bild darunter sein wird, als wenn nur ein einziges Bild genommen wurde.

Es ist J. J. Woodward (*Quart. Journ.* 1866. N. Ser. XXIII, p. 165) gelungen, mittelst eines Objectives von $^1/_{50}$ Zoll Brennweite von Powell und Lealand Photographien von *Pleurosigma angulatum* in 2500facher Vergrösserung zu bekommen. Mit einem Objective von $^1/_8$ Zoll Brennweite von W. Wales (Fort Lee, New-Jersey), welches so für photographische Benutzung verbessert ist, dass bei Anwendung violetten Lichtes die sichtbaren und die chemischen Strahlen den nämlichen Brennpunkt haben, erhielt er aber Photographien, die einer neuen Vergrösserung bis zu 19000 Malen im Durchmesser unterzogen wurden und dabei ganz scharf blieben. Diese Photographien sollen den sicheren Beweis liefern, dass die Felder auf *Pleurosigma angulatum* nicht sechseckig, sondern rund sind.

89 Dass beim Bildmikroskope ausser dem Sonnenlichte auch künstliches Licht zur Beleuchtung der Objecte benutzt worden ist, habe ich bereits oben (S. 283) erwähnt. Man kannte aber in früherer Zeit kein künstliches Licht, welches einen Vergleich mit dem Sonnenlichte zuliess, deshalb konnten solche Lampenmikroskope nur bei sehr schwachen Vergrösserungen in Anwendung kommen, und sie blieben immer sehr hinter den Sonnenmikroskopen zurück. Erst in neuerer Zeit hat man Lichtquellen entdeckt, die zwar das Sonnenlicht noch nicht erreichen, ihm aber doch weit näher kommen, und ausserdem noch den Vorzug besitzen, dass sie, wie jedes andere künstliche Licht, zu jeder Zeit in Gebrauch gezogen werden können. Diese Lichtquellen sind die auf Kalk geleitete Hydrooxygengasflamme, der elektrische Strom zwischen zwei Kohlenspitzen, welche die Pole einer Batterie bilden, endlich das brennende Magnesium.

Digitized by Google

Durch Pritchard (*Micrographia*, p. 170) erfahren wir, dass Birkbeck, als er 1824 in der *London Mechanics Institution* eine Vorlesung über optische Instrumente hielt, zuerst das Hydrooxygengas auf Kalk einwirkend in einer Laterna Magica anwandte, und dabei die Bemerkung fallen liess, dasselbe werde auch beim Mikroskope Anwendung finden können. Etwa um die nämliche Zeit benutzte auch Woodward dieses Licht zu phantasmagorischen Experimenten. Etwas später wandte es Lieutenant Drnmmond für Signale und auf Leuchtthürmen an (*Philos. Transact.* 1826, p. 324, und 1830, p. 383); es wurde von da an allgemein bekannt und erhielt den Namen Drummond's Licht. Aber erst 1832 wurde zum ersten Male davon Gebrauch gemacht, um die Objecte in einem Bildmikroskope damit zu beleuchten. J. T. Cooper, der den Versuchen Birkbeck's beigewohnt hatte, stellte in diesem Jahre mit dem Instrumentenmacher John Carry das erste Hydrooxygengasmikroskop her, und am 18. Febr. 1833 wurde es zum ersten Male in einer öffentlichen Vorstellung gezeigt (*Microsc. Journ.* I, p. 2). Kommt nnn gleich eine solche Einrichtung selbst dem gewöhnlichen Sonnenmikroskope noch lange nicht gleich, so hat doch selten ein neuerfundenes Instrument einen grösseren Eindruck gemacht als dieses, wie aus den übertriebenen Berichten in Zeitungen und selbst in wissenschaftlichen Journalen zu entnehmen ist. Die Speculation bemächtigte sich alsbald der Erfindung; die im Wasser lebenden Larven mancher noch ziemlich grossen Insecten, wie Mücken, Eintagsfliegen u. s. w., die man ganz gut mit blossem Auge erkennen kann, wurden dem schaulustigen Publicum als Infusionsthierchen vorgezeigt, und die stattfindenden Vergrösserungen wurden dabei nicht nach dem Durchmesser angegeben, sondern nach der Oberfläche, ja sogar nach dem knbischen Inhalte.

Von denen, die sich durch solche Marktschreiereien nicht irreführen liessen, erkannten doch manche, dass ein solcher Apparat zu öffentlichen Demonstrationen brauchbar sei; und wenn man auch später eingesehen hat, dass in dieser Beziehung die Erwartungen zu hoch gingen und die feinere Structur der thierischen nnd pflanzlichen Gewebe sich dadurch nicht deutlich machen lässt, so sind gleichwohl die Bemühnngen jener gerechtfertigt, die das Hydrooxygengasmikroskop diesem Zwecke mehr anzupassen suchten.

Die Verbesserungen bezogen sich weniger auf den optischen Vergrösserungsapparat, der ganz gleich ist wie beim Sonnenmikroskope, sondern beschränkten sich hauptsächlich auf die Einrichtung der beiden Gasrecipienten, auf die gefahrloseste Vermischung der beiden Gase vor deren Ausströmen, auf die Herstellung einer regelmässigen Drehbewegung der Kalk- oder Kreidemassen durch ein Uhrwerk, sowie auf die Mittel zur Concentration der Lichtflamme.

Eine ausführliche Auseinandersetzung der verschiedenen Methoden

nebst Beschreibung und kritischer Prüfung der verschiedenen Apparate würde mich aber zu weit abführen, und ohne viele Abbildnngen würde die Sache auch nicht zu verstehen sein. Ich beschränke mich deshalb auf nachfolgende kurze Notizen.

Anfangs 1834 verfertigte bereits Becker in Gröningen, angeleitet von Stratingh, ein Hydrooxygenmikroskop (*Konst- en Letterbode*, 1834. I, p. 148), woran der zur Gaszuleitung bestimmte Theil von der ursprünglichen englischen Einrichtung hauptsächlich darin abweicht, dass nnr der Sauerstoff sich vorher in einem besondern Gasometer ansammelt, das Wasserstoffgas aber in dem Maasse als es verbraucht wird, sich immer neu bildet, wie in einer Döbereiner'schen Lampe.

In dem nämlichen Jahre war das Hydrooxygenmikroskop in Frankreich durch einen damit umherziehenden Engländer, Namens Warwich, bekannt geworden, und Ch. Chevalier (l. l. p. 45) verfertigte, unter dem Beirathe von Galy Cazalat, alsbald ein solches Instrument, wobei darauf Bedacht genommen wurde, dass es mit grösserer Sicherheit benntzt werden konnte.

In Deutschland war Pfaff (Poggendorff's *Annalen* Bd. II, S. 547) einer der Ersten, der sich mit der neuen Erfindung beschäftigte nnd auch eine neue Einrichtung der Gasometer in Vorschlag brachte.

In England blieb man natürlich nicht znrück, und die ursprüngliche Einrichtnng wurde anf mannigfaltige Weise verbessert. Pritchard (*Micrographia*, p. 192) fertigte zwei Arten Gasometer dafür, von denen indessen das eine nnr eine Nachahmung des früheren Barlow'schen Gasometers war (*Philos. Mag.* VIII, p. 240). Um das Licht auf das Object zu concentriren, ersetzte Pritchard auch die stark gekrümmte Linse durch ein Doublet aus einer biconvexen nnd einer planconvexen Linse, oder er brachte einen hohlen Metallspiegel hinter die Lichtquelle. Das mächtigste Instrument dieser Art wnrde 1842 für die *Polytechnic Institution* in London von Carry geliefert (*Mechanics Magazine* 1842. Nr. 1010. Dingler's *Journ.* Bd. 67, S. 237). Bei einem Sehfelde von 24 Fuss soll es die Oberfläche der Objecte 74,000,000 Mal vergrössern, den Dnrchmesser also etwa 8500 Mal. Haben die Bilder bei dieser Vergrösserung wirklich noch hinreichende Helligkeit und Schärfe, dann muss Carry noch andere Mittel zur Verstärkung der Beleuchtung angewandt haben, als bis dahin gebräuchlich waren. Die Hydrooxygenmikroskope wenigstens, die ich habe prüfen können, gestatten keine Vergrösserung über 1500 Mal, und dabei haben die Bilder kaum so viel Lichtstärke, als bei einer 10,000maligen Vergrösserung mit dem Sonnenmikroskope. So viel steht aber fest, dass man durch ein gutes aplanatisches zusammengesetztes Mikroskop bei 200maliger Vergrösserung alles sehen kann, was das beste Hydrooxygenmikroskop zur Ansicht zu bringen vermag.

Google

Ein Hydrooxygenmikroskop mit dem ganzen Zubehör von Gasometern u. s. w. kostete bei Ch. Chevalier 1500 bis 2000 Francs.

Das Hydrooxygenmikroskop ohne den Gasapparat, der auf Verlangen besonders dazu geliefert wird, kostet bei Plössl, je nach der Grösse (3 bis 3½ Zoll) der Beleuchtungslinse und der Anzahl (3 bis 6) der achromatischen Objectivlinsen, 100 bis 200 Gulden Conv.-Münze.

Bei Pistor und Martins kostet es mit dem vollständigen Apparate, mit messingenen Gasometern u. s. w., 180 bis 300 Thaler.

Eine gute Vereinfachnng des Gasmikroskopes wurde vor mehreren Jahren von Children und Collins in London (*Francis-Street* Nr. 26. *Tottenham Court Road*) eingeführt: das Wasserstoffgas wurde dnrch eine alkoholische Lösnng von Camphine (Terpentinöl) ersetzt. Die Kalkmasse kommt in die Flamme der Camphine und ein Strom Sauerstoffgas wird darauf geleitet. Der Apparat besteht aus zwei dicht bei einander befindlichen Röhren, die einen zusammengerollten platten Docht enthalten, so wie ans einem Kalkcylinder von etwa ⅜ Zoll Länge und ⅛ Zoll Dicke in einem Messingröhrchen. Der Strang, welcher das Sanerstoffgas aus einem Gasometer zuleitet, geht in ein dünnes Röhrchen ans, welches anfwärts gebogen ist und zwischen den nur wenig von einander abstehenden Dochten endigt; seine Oeffnung ist nicht ganz ⅛ Zoll entfernt von der runden Oberfläche des kleinen Kalkcylinders und steht etwa ¼ Zoll über dem unteren Rande des Messingröhrchens. Sie fanden mit Wheatstone's Photometer, dass das Licht dieses Apparates jenem von 108 Wachskerzen gleich kam; einmal kam es sogar dem Lichte von 121 Wachskerzen gleich. Das Hydrooxygenlicht auf Kalk geleitet fanden sie so stark leuchtend, wie 120 solche Kerzen. 90

Sollte es sich bestätigen, dass dieses Licht jenem des Hydrooxygenlichts an Stärke ziemlich gleichsteht, dann würde allerdings die erzielte Vereinfachung des ganzen Apparates nicht gering anzuschlagen sein. Auch dürfte man wohl erwarten, das Licht noch mehr verstärken zu können; denn da die Gefahr des Explodirens hier ganz beseitigt ist, so dürften anch die Flamme und die Oeffnung für das ausströmende Gas unbedenklich noch etwas vergrössert werden, falls letzteres nicht durch Abkühlnng schädlich wirkt.

Zur Beleuchtung bei Bildmikroskopen ist anch das elektrische Licht 91
benntzt worden, das sich zwischen Kohlenstäbchen entwickelt, die als Polenden einer galvanischen Batterie dienen. Schon seit vielen Jahren kannte man durch Davy's Versnche dieses blendende Licht, dessen Intensität unter allen künstlichen Lichtarten dem Sonuenlichte am nächsten kommt. Bei der früheren Einrichtung der galvanischen Batterien indessen nimmt seine Stärke so rasch ab, dass man nicht daran denken

Digitized by Google

konnte, es zu Versuchen zu verwenden, die während eines gewissen Zeitraumes andauern müssen. Erst nachdem die verschiedenen Arten constanter Batterien von Daniel, Grove, Bunsen u. s. w. erfunden worden waren, eröffnete sich die Aussicht hierzu, und Donné mit Léon Foucauld versuchten zuerst diese Lichtquelle beim Bildmikroskope in Anwendung zu bringen. Sie wandten sich zu dem Ende an Ch. Chevalier, und dieser brachte das sogenannte photoelektrische Mikroskop zu Stande, welches am 12. März 1845 in der Sitzung der *Societé d'Encouragement* aufgestellt und angewandt wurde (*Bulletin de la Soc. d'Encour.* Sept. et Dec. 1845. Dingler's *Polytechnisches Journ.* 1846. Bd. 100. S. 101).

Die wesentliche Einrichtung desselben ist folgende. In der Mitte eines vierseitigen Kastens befinden sich die beiden als Polenden dienenden Stücke Kohle. Sie sind prismatisch, 3 Millim. breit, 10 bis 12 Millim. lang, aus Gascoakes angefertigt und stecken in besonderen Röhren, die mit den Leitungsdrähten der Batterie in Verbindung stehen und durch einen Trieb, dessen Knöpfe aus dem Kasten hervorragen, einander genähert werden können, wenn sie durch Verbrennen kürzer werden und somit weiter von einander abstehen. Ein Hohlspiegel mit einem Focus von 8 Centimeter und einem Durchmesser von 10 Centimeter steht hinter diesen Kohlenstücken. Um die hohe Temperatur des durch diesen Spiegel erzeugten Lichtbildes, in welches die Objecte gelegt werden müssen, zu mindern, befindet sich nach vorn innen im Kasten ein Trog mit parallelen Glaswänden, der mit einer gesättigten Alaunlösung gefüllt wird. Eine durch ein dunkeles, fast schwarzes Glas geschlossene Oeffnung in dem Kasten dient dazu, das Licht zu beobachten, um es möglichst reguliren zu können. Das Dach und der Boden des Kastens bestehen aus einer Anzahl schiefstehender Platten, zwischen denen freie Interstitien zum Durchtritte der Luft verbleiben, während doch das Licht dabei ganz abgeschlossen ist.

Donné und Léon Foucauld benutzten eine Bunsen'sche Batterie von 60 Paaren. Sie fanden es nöthig, noch eine Einrichtung zur Regulirung der Stromstärke zu treffen. Sie nahmen hierzu zwei dreieckige Streifen Platinblech. Jeder Streifen stand mit dem Leitungsdrahte des einen Poles der Batterie in Verbindung und tauchte mit der Spitze in einen Trog mit angesäuertem Wasser; beide Streifen aber waren an einen Träger befestigt, der sich durch einen Trieb höher und tiefer stellen liess, so dass sie mehr oder weniger tief in die Flüssigkeit tauchten.

Aus dieser Beschreibung ist ersichtlich, dass der Abstand zwischen den beiden Kohlenstücken durch die Hand regulirt wurde. Nun übt aber schon die geringste Aenderung dieses Abstandes einen grossen Einfluss auf die Intensität des Lichtes und es fällt daher sehr schwer, das Licht so zu reguliren, dass es immer die gleiche Intensität zeigt. Eine me-

Digitized by Google

chanische Vorrichtung statt der Hand war deshalb wünschenswerth. In England, wo man das elektrische Licht im Allgemeinen zur Beleuchtung zu verwenden wünschte, brachte Edward Staite in London (*Lond. Illustr. News.* 18. Nov. 1848) eine dazu passende Vorrichtung zu Stande, ebenso William Petrie in London (*Comptes rendus.* XXVIII, p. 157). Indessen hatte auch Léon Foucauld bei seinen früheren Versuchen mit Donné genugsam erkannt, wie unvollkommen ihre damalige Einrichtung war, und am 15. Januar 1849 gab er der französischen Akademie Nachricht von einer Vorkehrung, wodurch die Kohlenstücke mittelst einer zweckmässigen Vereinigung von Federn, verbunden mit einem Räderwerke und einem Elektromagneten, immer den nämlichen Abstand von einander behielten (*Comptes rendus.* XXVIII, p. 68). In einem Berichte darüber geben Regnault und Dumas an, der Apparat habe unter ihren Augen mit dem besten Erfolge gearbeitet, und es habe sich eine so gleichbleibende Intensität des Lichtes gezeigt, wie man sie nur für Versuche wünschen könne, bei denen das Sonnenlicht durch elektrisches Licht ersetzt werden soll.

Einen mehr vereinfachten Apparat legte Jules Dubosq am 9. Dec. 1850 der französischen Akademie vor (*Comptes rendus.* XXXI, p. 809), der auch seitdem zumeist in Gebrauch gekommen ist. Ich habe mich selbst davon überzeugt, dass mit demselben ein ziemlich gleichmässiges und unveränderliches Licht erzielt wird.

Allein trotz aller Intensität unterscheidet sich dieses elektrische Licht doch noch sehr von dem durch eine Linse concentrirten Sonnenlichte. Wenn daher auch das photoelektrische Mikroskop vor dem Gasmikroskope den Vorzug verdient, immer bleibt es noch ein sehr unvollkommenes Instrument, das nur bei einer verhältnissmässig schwachen Vergrösserung der Objecte passt. Mit einem guten zusammengesetzten Mikroskope sieht man bei 200maliger Vergrösserung alles, was ein photoelektrisches Mikroskop in einem zehnmal grösseren Bilde zur Anschauung bringen kann.

Am meisten verspricht das Magnesiumlicht, das Bunsen als Maass- 92
einheit für photometrische Untersuchungen empfohlen hat. Magnesiumdraht, rund oder abgeplattet, wird gegenwärtig schon in ziemlicher Menge hergestellt; beim Verbrennen giebt derselbe ein sehr schönes, weiss glänzendes Licht. Unlängst hat Roscoe in Bath Versuche damit angestellt, wobei sich ergab, dass Magnesiumlicht von der scheinbaren Grösse der Sonnenscheibe und unter 67⁰ geneigt, nur eine fünfmal geringere Lichtintensität besitzt, als die nicht von Wolken bedeckte Sonne. Ein dünner Magnesiumdraht verbreitete so viel Licht als 74 Wachskerzen, und zu einem 10stündigen Brennen würden ungefähr $2^1/_2$ Unzen Magnesiumdraht erforderlich sein, die nach dem jetzigen Preise etwa 125 Holl. Gulden kosten würden (*Daily Telegraph*, 22. Febr. 1865). Bei diesem hohen

Preise kann das Magnesiumlicht zur Beleuchtnng der Objecte im Bildmikroskope allerdings noch nicht in allgemeinen Gebrauch kommen. Es steht aber zn erwarten, dass der Preis durch Verbesserung und Vereinfachung der Bereitungsweise allmälig sich niedriger stellen wird. Vielleicht kann man aber auch auf eine noch einfachere Weise zum Ziele gelangen. Von der Wahrnehmung ausgehend, dass beim Verbrennen von Magnesium eigentlich die glühenden Theilchen des Oxyds das starke Licht ausstrahlen, brachte Carlevaris (*Comptes rendus.* Jnin, 1865. LX, p. 1252) Chlormagnesium mit Kohle, oder die gewöhnliche kohlensaure Magnesia des Handels, rollenförmig zusammengepresst, in die Hydrooxygengasflamme und erlangte dadurch das nämliche intensive Licht. Bereits hat man mehrere Magnesiumlampen erfunden, deren Einrichtung dahin geht, dass der um eine kleine Rolle gewundene Magnesiumdraht langsam sich abwickelt und in die aufgestellte Gaslampe oder Alkohollampe eintritt. Diese Abwickelung erfolgt dadurch, dass eine Kurbel mittelst der Hand herumgedreht wird (II, Fig. 103 S. 289), oder aber es ist ein Uhrwerk dabei im Spiele. Noch mehr concentrirt wird das Licht durch einen metallischen Hohlspiegel mit einer kleinen Oeffnung, wodurch der Draht tritt. Solche Lampen sind ausdrücklich für photographische Zwecke bestimmt, sie würden aber auch ganz gut beim Bildmikroskope zur Beleuchtung der Objecte dienen können, wenn eine starke Convexlinse oder ein gewölbtes Prisma in die Bahn der Strahlen käme, wodurch ein mehr concentrirtes Licht auf den Spiegel oder direct auf das Object geleitet wird.

Neunter Abschnitt.

Apparate und Hülfsmittel zur mikroskopischen Untersuchung.

Bei mikroskopischen Untersuchungen werden vielerlei kleine Apparate und Instrumente benutzt, die jedoch nicht unerlässlich sind, und grösstentheils nur dazu dienen, die Beobachtung selbst sicherer und bequemer auszuführen. Die Anzahl dieser Hülfsmittel ist ziemlich gross, und wenn sie auch nicht alle gleich brauchbar sind, manche vielmehr recht gut durch andere weniger kostspielige Einrichtungen ersetzt werden können, so soll doch hier eine möglichst vollständige Uebersicht derselben gegeben werden. 93

Die älteren Mikroskope waren in dieser Beziehung natürlich nur dürftig ausgestattet. In dem Briefe Boreel's (§. 12) lesen wir, dass die Ebenholzscheibe, worauf das Mikroskop von Hans und Zacharias Janssen ruhte, einige *quisquiliae* enthielt; es ist aber nicht klar, ob damit einzelne kleine Objecte gemeint sind, oder kleine Instrumente, deren man sich bei der Untersuchung bediente. Jedenfalls ist ihre Anzahl nur eine geringe gewesen, denn bei allen übrigen während des 17. Jahrhunderts gefertigten Mikroskopen trifft man nur wenige dergleichen an.

Es lassen sich folgende Klassen dieser Instrumente unterscheiden: 94

1) Apparate zur Beleuchtung der Objecte, und zwar
   a) bei durchfallendem Lichte;
   b) bei auffallendem Lichte;
   c) bei polarisirtem Lichte.

2) Apparate und Hülfsmittel zum Tragen und Festhalten der Objecte.

3) Einrichtungen zur mechanischen Bewegung der Objecte auf dem Objecttische, und zwar

a) zur geradlinigen diagonalen Bewegung;
b) zur Kreisbewegung.

4) Apparate znm Messen und Zeichnen der Objecte:

a) Mikrometer;
b) Focimeter;
c) Goniometer;
d) katoptrische und dioptrische Hülfsmittel znr Projection der Bilder.

5) Apparate zum Schutze der Linsen bei mikrophysikalischen und mikrochemischen Untersnchnngen.

6) Instrumente znr Anfertigung mikroskopischer Präparate.

Die zu diesen verschiedenen Klassen gehörigen Instrumente sollen nun der Reihe nach betrachtet werden.

Erstes Kapitel.

Beleuchtungsapparate.

95 Früher ist zu wiederholten Malen von den verschiedenen Beleuchtungsweisen der Objecte die Rede gewesen, die nach einander in Gebrauch gekommen sind. Der Gegenstand ist indessen zu wichtig, als dass ich nicht im Besonderen dabei stehcn bleiben sollte, um das bereits Erwähnte in einen Zusammenhang zu bringen und das noch Fehlende hinzuzufügen. Natürlich wird aber nur die Beleuchtung der Objecte beim einfachen und znsammengesetzten Mikroskope in Frage kommen, da von der Belenchtung bei den verschiedenen Arten von Bildmikroskopen bereits im vorigen Abschnitte die Rede war.

96 Gleich vom Anfange an sind die zwei wichtigsten Beleuchtnngsweisen, mit durchfallendem und mit auffallendem Lichte, in Gebrauch gewesen, die erste indessen anfänglich nur beim einfachen Mikroskope, weil die ersten zusammengesetzten Mikroskope bis gegen Ende des 17. Jahrhnnderts nur dazu geeignet waren, die Objecte bei auffallendem Lichte zu betrachten.

Die erste Verbesserung in der Belenchtung durchsichtiger Objecte, die durchs einfache Mikroskop betrachtet werden, erzielten Hndde und Hartzoeker dadurch, dass sie (s. Fig. 8 S. 41) hinter das Object eine

biconvexe Linsen brachten, welche der letztere zugleich so einrichtete, dass sie mittelst der Schraube *f* nach Willkür dem Objecte näher oder ferner gestellt werden konnte. Dieses Beispiel ahmte Bonannus (Fig. 65, S. 108) auch beim zusammengesetzten Mikroskope nach, und späterhin ist diese Beleuchtungslinse immer in Gebrauch geblieben; nur hat man neuerer Zeit, wie weiterhin nachgewiesen werden soll, die biconvexe Linse durch Linsen von besserer Form ersetzt, und man hat auch zwei oder mehr Linsen vereinigt, wodurch eine mehr oder weniger vollkommene achromatische Beleuchtung erreicht wird.

Schon sehr früh ist man auch darauf bedacht gewesen, das überflüssige Licht mittelst Diaphragmen abzuhalten. Zuerst begegnet uns das bei einem der einfachen Mikroskope von Johannes Musschenbroek (Fig. 10 B, S. 43); er brachte hinter das Object ein Täfelchen, das sich um einen Stift drehte und mehrere Oeffnungen von verschiedenem Durchmesser hatte. Viel später erst kam dieses Princip durch Lebaillif auch beim zusammengesetzten Mikroskope in Anwendung. Lebaillif war der erste, der unter dem Objecttische eine drehbare Scheibe anbrachte (Fig. 142), die noch gegenwärtig bei vielen Mikroskopen angewendet wird; dieselbe ersetzte den früherhin von Culpeper und Scarlet benutzten Hohlkegel (Fig. 69 A, S. 113), welcher den beabsichtigten Zweck in geringerem Maasse erfüllt.

Fig. 142.

Lebaillif's drehbares Diaphragma.

Der Spiegel, der gegenwärtig den ersten und wichtigsten Bestandtheil jedes Beleuchtungsapparates ausmacht, ist am spätesten in Gebrauch gekommen. In Tortona's zusammengesetztem Mikroskope (Fig. 64, S. 107) war zwar schon 1685 eine Einrichtung angebracht, vermöge deren es dem Lichte zugekehrt wurde, so dass man, gleichwie mit dem einfachen Mikroskope, die Objecte bei durchfallendem Lichte damit betrachten konnte; aber erst 30 Jahre später verfiel Hertel (Fig. 68, S. 112) darauf, einen Spiegel unterhalb anzubringen, und es währte fast noch zwanzig Jahre, ehe dessen Gebrauch allgemein angenommen wurde.

Wenden wir uns jetzt zur Betrachtung der Beleuchtungsapparate 97
unserer heutigen Mikroskope. Ueber die theoretischen Grundprincipien, worauf sich die Beleuchtung mikroskopischer Objecte zu stützen hat, muss ich übrigens auf Band I, S. 225 u. flg. verweisen.

Die meisten unserer jetzigen Mikroskope haben einen concaven und einen ebenen Spiegel, z. B. jene von Oberhäuser, Hartnack, Nachet, Plössl, Schiek, Zeiss, Schrader, Belthle, Powell, Ross, Smith. Die älteren Mikroskope von Amici haben nur einen concaven Spiegel, die neueren nur einen flachen; letzteres ist auch bei jenem Mikroskope der

Digitized by Google

Fall, welches Pritchard für Goring herstellte. Das ist ein Mangel. Denn wenn man auch durch die Beleuchtungslinse das Licht gehörig zu concentriren vermag, so bleibt doch die Richtung der Strahlen, welche auf das Object fallen, immer die nämliche. Durch die Verbindung mit einem Hohlspiegel lassen sich aber hierin die nöthigen Modificationen anbringen.

In manchen Fällen, namentlich wo es auf die Wahrnehmung von Farben ankommt, ist es gut, eine reflectirende Fläche zu benutzen, von welcher diffuses weisses Licht ausstrahlt. Zu diesem Zwecke bedeckte Goring die Hinterseite des Spiegels mit Gyps. Besser ist aber das Verfahren von Chevalier, der seinen Mikroskopen isolirte weisse Scheiben von der Grösse des Spiegels beifügte, die man nöthigen Falles auf diesen legt. Varley empfahl dazu das Aufstreuen von kohlensaurem Natron.

Statt des Glasspiegels, der natürlich immer zwei Bilder reflectirt, haben manche ein Glasprisma empfohlen. Im Jahre 1838 benutzte Dujardin (*L'Institut* 1838, Nr. 247. — *Manuel de l'Observateur au microscope*, p. 21) zuerst ein solches und späterhin nahm es auch Merz in sein Mikroskop auf. Ihr Beispiel hat aber keine Nachahmung gefunden und wird es wohl auch in der Folge nicht finden, weil das reflectirende Prisma weit kostspieliger ist, als der Spiegel, und weil auch die zweite Reflexion des letzteren hier der Schärfe des Bildes, welches man auf einem erleuchteten Hintergrunde sieht, durchaus keinen Eintrag thut.

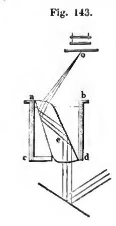
Weit mehr kommt darauf an, wie die Bewegung des Spiegels eingerichtet ist. Dass er in einem Bügel hängen muss, der sich um einen Stift dreht, wodurch er unter verschiedenen Winkeln geneigt werden kann, versteht sich von selbst; auch finden wir den Spiegel von der ersten Zeit an, wo er in Gebrauch gekommen ist, also eingerichtet. Es fehlte aber eine dritte Bewegung: der Spiegel muss auch aus der optischen Axe des Mikroskopes gebracht werden können, damit die Objecte durch schief einfallendes Licht getroffen werden, was für die Wahrnehmbarkeit mancher schwer erkennbarer Einzelnheiten sehr durchsichtiger Objecte sehr wichtig sein kann. Diese Beleuchtungsweise mit schief einfallendem Lichte wollte Oberhäuser (*Comptes rendus*, 14. Juin 1847) als eine neue Erfindung ausgeben; doch kannte man die Mittel dazu schon im vorigen Jahrhunderte, und die Vorzüge dieser Beleuchtung fanden schon damals wie später Anerkennung, wie man bei Adams (*Essays on the Microscope*, 1798, p. 136) ersehen kann.

Zum ersten Male begegnen wir 1759 dieser Bewegung des Spiegels bei den Mikroskopen Martin's (Fig. 73, S. 117), wo sich der Spiegel an einer runden Stange verschieben und zur Seite drehen lässt, und fast auf die gleiche Weise ist sie von Powell (Fig. 103, S. 211) beibehalten worden. Auch bei Dellebarre (Fig. 75, S. 123) ist der Spiegel zur

Seite beweglich, hier aber durch ein Charnier. Den Vorzug vor diesen beiden Methoden verdient es, wenn der Spiegel an einer Kurbel aufgehängt wird, wie es schon am Ende des vorigen Jahrhunderts bei den Mikroskopen von Hermann und Jan van Deyl (S. 127) vorkommt. Später hat sich diese Befestigungsweise wiederum verloren; doch finde ich sie bei einem 1835 von Amici verfertigten, in Utrecht befindlichen Mikroskope, und ebenso bei dessen neuen Instrumenten (Fig. 89, S. 169). An den älteren Oberhäuser'schen Mikroskopen fehlt diese Einrichtung; sie findet sich dagegen bei den späteren Oberhäuser'schen Instrumenten (Fig. 83, S. 151). Bei den Mikroskopen endlich von Smith u. Beck (Fig. 105, S. 215) kann der Spiegel nicht allein durch eine Kurbel, sondern auch noch durch eine Drehbewegung ausserhalb der Axe des Instrumentes gebracht werden, aber das erstere allein ist schon ganz ausreichend.

Jetzt haben alle grösseren und mittleren Mikroskope eine Einrichtung, um den Spiegel aus der Axe des Mikroskopes zu rücken, und es ist immer als ein Mangel anzusehen, wenn dieselbe bei manchen kleineren fehlt, namentlich bei solchen mit einer Trommel. Diesem Mangel kann einigermaassen durch das von Nachet (*Comptes rendus.* 1847, XXIV, p. 967) erfundene Prisma abgeholfen werden. Der Nachet'sche Beleuchtungsapparat ist Fig. 143 im Durchschnitte dargestellt. Unmittelbar unter den Objecttisch bringt Nachet ein in eine kurze Röhre *abcd* eingeschlossenes Glasprisma *e*, welches dergestalt geschliffen ist, dass die Lichtstrahlen parallel mit der Axe auf die untere Fläche treffen, dann zweimal vollständig reflectirt werden und hierauf, je nach dem Verhältniss der Winkel des Prisma, bei *o* unter einem mehr oder weniger spitzen Winkel das Object erreichen. Durch jenes, welches Nachet der französischen Akademie vorlegte, bildeten die Strahlen einen Winkel von 30° mit der Axe des Mikroskopes. Er gab zugleich an, man könne ein solches Prisma auch mit convexen Oberflächen schleifen, so dass es auch als Beleuchtungslinse diente, und diese Form ist in dem abgebildeten Apparate vorhanden, der zu einem Mikroskope vom Jahre 1849 gehört. Die kurze röhrenförmige Kapsel kommt in die nämliche Oeffnung des Hebelapparats, in welche die röhrenförmigen Diaphragmen passen.

Fig. 143.



Nachet's Beleuchtungsapparat.

Ich erkenne das Sinnreiche dieser Erfindung vollkommen an; offenbar steht sie aber in Brauchbarkeit dem an einer Kurbel befestigten Spiegel nach, da dieser nicht so theuer ist und auch gestattet, das Licht

unter verschiedenen Winkeln auf das Object fallen zu lassen. Nachet giebt zwar an, es sei ihm vorgekommen, als sei die Wirkung für Winkel von 20° bis 40° die nämliche gewesen. Indessen kann das nicht ganz richtig sein, und überdies ist auch ein Winkel von 40° nicht die äusserste Grenze für die Benutzung des schief einfallenden Lichtes. Bei manchen Objecten ist es mir vorgekommen, als wäre bei Beleuchtung unter einem Winkel von 60° noch etwas zu gewinnen. Nur für jenen Fall, wofür es Nachet selbst bestimmt hat, empfiehlt sich dieses Prisma in der That. Es steht aber zu erwarten, dass der trommelförmige Fuss bald ganz aufgegeben wird und man nur solche Gestelle verfertigt, welche eine freie Bewegung des Spiegels gestatten. Bei den neueren Mikroskopen Nachet's kann der Spiegel ebenfalls ausserhalb der Axe des Instrumentes angebracht werden; ja für den Fall, dass die Dicke des Objecttisches dem Zutritte sehr schief auffallender Strahlen hinderlich wäre, sobald der Spiegel in bedeutenderem Grade ausserhalb der Axe gerückt wird, fügt er jetzt seinen grösseren Mikroskopen einen Hülfsobjecttisch bei, der unter den eigentlichen Objecttisch kommt und woran die Objecte durch eine Art Klammer festgehalten werden. Das Mikroskoprohr wird dann durch die Oeffnung des Objecttisches geschoben, bis das Objectiv nahe genug über das Object gekommen ist.

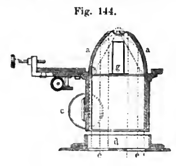
Die Beweglichkeit des Spiegels in der Axenrichtung, so dass er höher und tiefer gestellt werden kann, gehört nicht zu den unerlässlichen Forderungen; sie fehlt an den Mikroskopen von Ross, Plössl, Schiek, Amici, Brunner, sowie an den älteren Oberhäuser'schen. Diese letzteren sind noch durch die Eigenthümlichkeit ausgezeichnet, dass der Focus des Hohlspiegels gerade auf das auf dem Objecttische befindliche Object fällt. Späterhin hat Oberhäuser dies aufgegeben und den Spiegel so eingerichtet (Fig. 83, S. 151), dass die ihn tragende Kurbel in senkrechter Richtung hinauf und herunter geschoben werden kann, und da der Hohlspiegel nur einen kurzen Focus von 47 Millim. hat, so ist es möglich, ein convergirendes und durch Tieferstellen des Spiegels auch ein divergirendes Strahlenbündel auf das Object fallen zu lassen. An den Mikroskopen von Pritchard, Powell, Smith ist der Spiegel ebenfalls nach oben und nach unten verschiebbar; die Brennweite der Hohlspiegel ist aber hier, wie bei den meisten übrigen Mikroskopen, grösser als der Abstand zwischen Object und Spiegel, so dass immer ein convergirendes Strahlenbündel zum Gesichtsfelde gelangt.

98 Da die Erfahrung lehrte, dass die excentrische Stellung des Spiegels grosse Vortheile darbietet, so bemühte man sich, andere Einrichtungen ausfindig zu machen, wodurch der Hauptzweck, das Object durch schief einfallendes Licht mit Ausschluss der in der Nähe der Axe eintretenden Strahlen zu beleuchten, noch vollkommener erreicht würde.

Digitized by Google

In dieser Beziehung ist zunächst das Paraboloid von **Wenham** (*Microscop. Transact.* 1851) zu nennen, welches im verkleinerten Maassstabe in Fig. 144 dargestellt ist. Es stellt nämlich *aa* ein aus Silber verfertigtes Paraboloid dar, dessen Innenfläche gut polirt ist, und dessen Brennweite $^1/_{16}$ engl. Zoll beträgt. Die Spitze dieses Paraboloids ist so weit abgeschnitten, dass sein Brennpunkt mit der Oberfläche der dicksten Glasplättchen coincidirt, die man als Objecttäfelchen zu benutzen pflegt. An der Basis des Paraboloids befindet sich eine dünne Glasplatte *bb*; auf diese ist ein geschwärzter kleiner Cylinder *g* gesetzt, dessen Rand der oberen Oeffnung des Paraboloids gleichkommt, damit alle zunächst der Axe einfallenden Strahlen abgeschnitten werden. Es gelangt daher kein directes Licht vom Spiegel zum Objecte, sondern dieses wird nur durch die von allen Seiten reflectirten Strahlen, die im Brennpunkte zusammentreffen, beleuchtet. Es gehört ferner zu dem kleinen Apparate ein Trieb mit dem Knopfe *c* zum Höher- und Tieferstellen, sowie ein drehbares Diaphragma *d* mit zwei in dem einen Durchmesser befindlichen Oeffnungen *ee*, so dass zwei Lichtbündel in entgegengesetzten Richtungen reflectirt werden. Die oberste Oeffnung endlich ist durch einen Meniscus geschlossen, um dadurch die Aberration der Lichtstrahlen beim Durchgange durch die Glasplättchen zu verbessern, wodurch den Objecten etwas Farbiges und Nebelhaftes ertheilt werden würde. Auch ist dadurch der Zutritt von Luft und von Dünsten abgeschnitten, was die Erhaltung des Glanzes der inneren Fläche sichert.

Fig. 144.



Wenham's Paraboloid.

Aus eigener Erfahrung kenne ich die Brauchbarkeit dieses Apparates nicht; indessen zweifle ich nicht daran, dass er in einzelnen Fällen recht gute Dienste leisten kann. Nur Schade, dass die grosse Mühe, welche die Herstellung eines solchen Paraboloids verursacht, einen hohen Preis bedingt, der Viele abhalten wird, sich dasselbe anzuschaffen. Uebrigens giebt **Nachet** jetzt auf Verlangen zu seinen Mikroskopen einen Glaskegel (I, S. 247), der ziemlich ebenso wirkt.

Die hier zu Grunde liegende Idee lässt sich aber, wenn auch nicht auf vollkommen gleiche Weise, noch auf einem anderen Wege und mit weniger Kosten zur Ausführung bringen. Es kommt nämlich nur darauf an, von der Seite her schief auftreffende Strahlen den Objecten zuzuführen, und alle näher der Axe befindlichen weniger schief auffallenden Strahlen abzuhalten; denn diese Mittelstrahlen, weit davon entfernt, einen vortheilhaften Einfluss zu üben, tragen nur dazu bei, dass die

kleinen Unebenheiten, welche durch die Randstrahlen hervortreten, wiederum zum Verschwinden gebracht werden. Es verhält sich in gewisser Beziehung hiermit ähnlich, wie mit den Linsensystemen, bei denen das Unterscheidungsvermögen hauptsächlich von den Randstrahlen abhängt, welches daher, statt abzunehmen, sich eher verstärkt, wenn man ein kleines Scheibchen auf das Objectiv legt und dadurch die Axenstrahlen abhält. Solche Scheibchen kann man auch in die Axe des Beleuchtungsapparates einschieben, entweder einzeln für sich, oder indem man sie an die Speichen eines kleinen Rades befestigt, oder indem man sie, wie in Fig. 145, in den Oeffnungen einer um eine Axe sich drehenden Messingscheibe anbringt, oder endlich, indem man sie hinter einander auf eine in einen Messingrahmen gefasste kleine Glasplatte klebt (s. Fig. 154, S. 321). Diese verschiedenen Methoden laufen in der Hauptsache auf das Nämliche hinaus und es ist ziemlich einerlei, welcher von ihnen man den Vorzug giebt.

Fig. 145.

Drehbare Scheibe zum Abhalten der Axenstrahlen des Beleuchtungsapparates.

Es versteht sich aber von selbst, dass ein solches Diaphragma nichts hilft, wenn der Beleuchtungsapparat paralleles Licht ins Gesichtsfeld sendet, und dass es auch wenig leisten wird, wenn derselbe aus einem Hohlspiegel besteht, wodurch blos eine geringe Convergenz oder Divergenz der Strahlen hervorgebracht wird. Soll es wirken, so muss es unter einer Linse oder einem Linsensysteme von kurzer Brennweite angebracht werden, wodurch das vom Spiegel reflectirte Licht stark convergirend oder divergirend wird; dann werden die Randstrahlen, welche in sehr schiefer Richtung ins Gesichtsfeld treten, dasselbe leisten, wie die Strahlen, welche durch Wenham's Paraboloid reflectirt werden.

Zwischen beiden besteht allerdings noch ein Unterschied, insofern nämlich beim Paraboloid die chromatische und bei recht vollkommener Ausführung auch die sphärische Aberration fehlt, die auch beim besten achromatischen Linsensysteme nicht ganz vollständig beseitigt ist. Ich bezweifle jedoch, dass dieser Mangel wirklich auf das Sichtbarwerden der Strichelchen schwieriger Probeobjecte einigen Einfluss übt.

Beleuchtungsapparate, womit nach Willkür die Randstrahlen oder die Axenstrahlen vom Eintritte ins condensirende Linsensystem abgehalten werden können, sind in England nach Gillett's Vorgange schon seit längerer Zeit in Gebrauch, und Ross, Powell u. Lealand, ebenso Smith u. Beck geben dergleichen zu ihren grossen Mikroskopen. Hierher gehört auch Shadbolt's *Sphero-annular condensor*, der nur eine Modification von Wenham's Paraboloid ist. Das Einfachste jedoch ist, man nimmt die früher (I, S. 247, Fig. 130) beschriebene ziemlich

hemisphärische Linse, auf deren flache Seite eine schwarze Scheibe geklebt wird, befestigt sie in einer kurzen Hülse und trifft eine Einrichtung, vermöge deren sie unter dem Objecttische höher oder tiefer gestellt werden kann. Schon seit einiger Zeit wurde manchem englischen Mikroskope eine solche Linse beigegeben zur Beleuchtung auf einem dunkeln Hintergrunde, ehe noch Dr. Hall (*Quart. Journ.* 1856, Nr. XV, p. 207) darauf aufmerksam machte, dass die nämliche Linse bei stärkeren Objectiven sehr geeignet ist, die Strichelchen schwerer Probeobjecte sichtbar zu machen und theurere Beleuchtungsapparate zu ersetzen. Ich habe eine solche hemisphärische Linse mit kurzer Brennweite (10 Millim.) hierzu auch sehr passend gefunden, wenngleich das ganze Sehfeld dadurch etwas Nebeliges bekommt, wahrscheinlich in Folge der starken sphärischen Aberration der Randstrahlen; ich erachte dieselbe für eine sehr zweckmässige Beigabe der kleineren, mit weniger guten Beleuchtungsapparaten versehenen Mikroskope, deren Preis dadurch nur wenig erhöht werden kann.

Wenn der concave Spiegel sich auf und ab bewegen lässt, so ist offenbar damit schon ein Mittel geboten, das Licht zu verstärken und zu schwächen, daher man für diesen Zweck eigentlich keine Linsen oder Linsensysteme in die Bahn der Strahlen zu bringen braucht. Indessen verknüpfen sich mit diesen doch besondere Vortheile, und so wird ihnen von Manchen nicht ohne Grund der Vorzug gegeben. Zunächst lässt sich eine Linse leichter hoch und niedrig stellen, als der viel schwerere Spiegel; dann aber können auch, wenn man einen Hohlspiegel mit einer Linse vereinigt, den Lichtstrahlen die verschiedenartigsten Richtungen ertheilt werden, wie früherhin (I, §. 207) entwickelt worden ist. Wenn auch keiner der jetzt gebräuchlichen Beleuchtungsapparate ganz nach den dort entwickelten Principien eingerichtet ist, so zweifle ich doch nicht daran, dass dieselben bald allgemeinere Anwendung finden werden, da Theorie und Erfahrung für dieselben sprechen. 99

Durch Brewster (*Treatise*, p. 135) wurde dargethan, die Beleuchtung mikroskopischer Objecte müsse immer derart sein, dass sich das Object gerade im Vereinigungspunkte der Strahlen befindet, und somit das ins Mikroskop eintretende Licht von Einem Punkte aus divergirt. Dieses Princip wurde in dem Beleuchtungsapparate Wollaston's (*Philos. Transact.* 1829, p. 9) festgehalten, der zu seinem einfachen Mikroskope mit den Doublets gehört und in Fig. 35, S. 64, dargestellt ist. Das Licht fällt hier auf den flachen Spiegel *f*, geht bei *i* durch die Oeffnung eines kurzen Rohres, erreicht dann die planconvexe Linse *e* und concentrirt sich bei *o* auf dem Objecte. Wollaston wollte alles so eingerichtet haben, dass an der Stelle des Objectes ein scharfes Bild der Oeffnung bei *o* gesehen würde; um dies besser zu können, sollte in diese Oeffnung

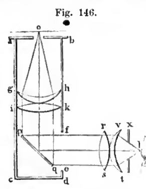
Digitized by Google

mit Wachs ein Faden geklebt werden, dessen Bild scharf auf dem Objecttische hervortreten müsste.

Brewster hob aber mit Recht hervor, dass auf diese Weise dem aufgestellten Principe durchaus nicht genügt werde: sieht man das Bild der Oeffnung scharf, dann haben sich die parallelen Strahlen, welche durch den Spiegel reflectirt werden, bereits unterhalb des Objectes in Einem Punkte vereinigt und auf das Object selbst fällt ein Bündel divergirender Strahlen. Die Richtigkeit dieses Princips für alle Fälle ist indessen nicht über jeden Zweifel erhoben, und daraus erklärt sich auch das Schicksal des Wollaston'schen Beleuchtungsapparates, nachdem ihn Goring auf das zusammengesetzte Mikroskop übertragen hatte, und zwar mit der Veränderung, dass die Linse in einer unter dem Objecttische befindlichen, nach unten kegelförmig zulaufenden Röhre höher und tiefer gestellt werden konnte.

100 Der planconvexen Beleuchtungslinse Wollaston's, deren gerade Fläche aufwärts gerichtet ist, liegt schon der Gedanke zu Grunde, den Einfluss der sphärischen und chromatischen Aberration minder schädlich zu machen. Brewster ging aber weiter und wollte den Beleuchtungsapparat gleich frei davon haben, wie den übrigen optischen Theil des Mikroskopes. Er benutzte daher den in Fig. 146 abgebildeten Beleuchtungsapparat. Hier ist *abcd* ein innen geschwärztes Rohr von $1^1/_2$ bis 2 engl. Z. Länge. Es hat bei *ef* eine Oeffnung und muss durch ein Gelenk oder sonst auf eine Weise mit dem Objecttische verbunden sein, so dass die Axe des Rohres zwischen 90°, als der gewöhnlichen Stellung, und 60° oder noch weniger geneigt sein kann, je nachdem es die Umstände erfordern. Ueberdies muss es sich um seine Axe drehen können. In diesem Rohre befindet sich das Doublet *gh* und *ik*, welches aberrationsfrei ist, $^1/_2$ bis 1 Zoll Brennweite hat, und durch einen Trieb höher oder tiefer gestellt werden kann, so dass der Brennpunkt paralleler Strahlen oder der Vereinigungspunkt divergirender Strahlen gerade auf *o* fällt, wo das zu untersuchende Object liegt. Etwas unterhalb befindet sich ein ebener Metallspiegel *pq*, welcher das durch die Oeffnung *ef* eindringende Licht zum Doublet reflectirt.

Fig. 146.



Brewster's Beleuchtungsapparat.

Bei der Beleuchtung durch künstliches Licht benutzt Brewster noch ein zweites Doublet *rs* und *vt*. Da die Lichtflamme in dessen Brenn-

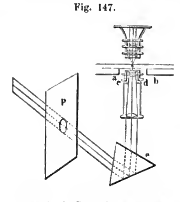
punkte *l* befindlich ist, so fällt ein Bündel paralleler Strahlen auf den Spiegel. Zwischen die Flamme und dieses Doublet kommt noch ein Diaphragma *xy* mit verschiedenartigen Oeffnungen; denn bei kreisförmigen Objecten giebt er runden Oeffnungen den Vorzug, bei gestreiften Objecten dagegen nimmt er lieber spaltenförmige Oeffnungen.

Zur Beseitigung der chromatischen Aberration schlug Brewster zweierlei vor, entweder die Beleuchtungslinsen achromatisch zu machen, oder einfarbiges Licht zu verwenden. Letzteres kann aber auf verschiedene Weise erzielt werden. So empfiehlt er eine Art Lampe, in deren Behälter sich verdünnter Weingeist befindet; dieser sinkt allmälig in eine kleine metallene Schüssel, unter welcher eine zweite Alkohollampe brennt und den verdünnten Weingeist erwärmt, der dann angezündet mit gelber Flamme brennt. Statt des verdünnten Weingeistes kann man auch eine weingeistige Solution von Küchensalz nehmen; in einer gewöhnlichen Alkohollampe hat man damit eine gelbe Flamme, und durchs Prisma kann man sich leicht davon überzeugen, dass das Licht beinahe monochromatisch ist. Nach Brewster soll es durch concentrirende Linsen möglich sein, dieses Licht so zu verstärken, dass sich alle mikroskopischen Beobachtungen damit ausführen lassen. Das hat mir jedoch ebenso wenig gelingen wollen, als Goring (*Micrographia*, p. 79); das Licht einer solchen Flamme ist ganz schwach und nur bei sehr schwachen Vergrösserungen benutzbar. Brewster empfahl ferner folgenden Apparat, um eine Flamme einfarbigen Lichtes zu bekommen. Ein mit comprimirtem Leuchtgase gefüllter Behälter ist so eingerichtet, dass sich das Gas beim Ausströmen mit atmosphärischer Luft vermengt und dann durch einen ringförmigen Docht tritt, der mit einer Salzsolution getränkt ist; darüber angezündet brennt das Gas mit gelber Flamme, die stärker sein soll als die vorige. Aus eigener Erfahrung vermag ich über die Zweckmässigkeit dieser Einrichtung nichts anzugeben. Aber auch noch auf andere Weise wollte Brewster das Licht monochromatisch machen: es sollte durch verschiedenartig gefärbte Medien gehen, oder der Spiegel sollte einem bestimmten Abschnitte des prismatischen Spectrums zugekehrt werden. Indessen bekannt genug ist die Schwierigkeit, um nicht zu sagen die Unmöglichkeit, farbige Medien, seien es Gläser oder Flüssigkeiten, vollkommen monochromatisch zu erhalten, ohne dass das Licht dadurch zu sehr geschwächt wird. Das Auffangen eines bestimmten Abschnittes des Spectrums hinwieder ist praktisch so schwierig auszuführen, dass eine durchgreifende Benutzung dieses Verfahrens gewiss nicht erwartet werden darf, wenn auch neuerdings der Abt Graf Fr. Castracane *degli Antelminelli* (Brief an Pater Secchi in den *Acta dei Nuovi Lincei* 1864. XVII.) von dieser Beleuchtungsweise mittelst eines Heliostaten von Foucault und eines stark zerstreuenden Prismas Gebrauch gemacht hat. Fing er den blaugrünlichen Theil des Spectrums auf, so konnte er schon mit Amici's

Objectiv Nr. 3 die Striche auf *Pleurosigma angulatum* unterscheiden, wozu doch bei Benutzung gewöhnlichen Lichtes Objectiv Nr. 5 erfordert wird. Dessen ungeachtet bleibe ich der Meinung, dass die monochromatische Beleuchtung für alle Zeiten ein sehr unvollkommenes Hülfsmittel bleiben wird. Denn erstens ist es nicht möglich, auf irgend eine Weise vollkommen einfarbiges Licht zu erhalten, das nur aus Strahlen von ganz gleicher Brechbarkeit besteht. Zweitens wird jedes Licht, das sich einem solchen Zustande nähert, durch die angewandten Mittel so geschwächt sein, dass es zu etwas stärkeren Vergrösserungen sich nicht eignet. Drittens aber ermangelt jedes farbige Licht des dem weissen Lichte zukommenden Vorzuges, einen starken Contrast zu dem schwarzen Schatten zu bilden, wodurch die Objecte bei durchfallendem Lichte allein noch erkennbar werden.

101 Aus diesen Gründen darf der im Jahre 1838 von Dujardin (*L'Institut*, Nr. 247, p. 307) beschriebene Beleuchtungsapparat (Fig. 147), der sich in der Hauptsache allerdings auch auf das Brewster'sche Princip stützt, als eine Verbesserung angesehen werden. Das Licht wird hier ebenfalls durch einen Spiegel oder noch besser durch das Prisma *e* aufgefangen. Dasselbe wird dann concentrirt durch ein Objectivsystem *ab* aus zwei oder drei achromatischen Doppellinsen, deren ebene Flächen nach aufwärts sehen. Die Entfernung vom Objecttische ist eine veränderliche, damit der Brennpunkt gerade aufs Object trifft. Um das Licht abzuhalten, welches nicht zur Beleuchtung des Objectes dient, sind zwei Diaphragmen angebracht, das eine *p* vor dem Spiegel oder dem Prisma, das andere *cd* unter dem das Object einschliessenden Rohre. Trécourt und Oberhäuser hatten auf diesen Apparat ein Patent genommen und letzterer gab ihn auch auf Verlangen um den Preis von 50 Francs zu seinen Mikroskopen.

Fig. 147.

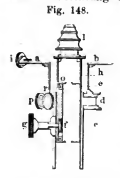


Dujardin's Beleuchtungsapparat.

Dem Beispiele Dujardin's sind späterhin andere gefolgt. Einer ähnlichen Einrichtung bei Amici's neueren Mikroskopen ist schon oben (§. 58) gedacht worden. Vorzüglich aber haben die englischen Optiker mit ihrer gewöhnlichen Kunstfertigkeit den achromatischen Beleuchtungsapparat in mechanischer Beziehung sehr verbessert und er gehört gegenwärtig stets zu ihren grösseren Mikroskopen. Ross, Powell, Smith verfertigen ihn, abgerechnet einige kleine Modificationen, in den Haupt-

punkten auf die nämliche Weise; ich will daher nur die von Ross gewählte Einrichtung beschreiben, welche in Fig. 148 im Durchschnitte dargestellt ist. Durch die Platte *ab* wird der ganze Apparat an den Objecttisch befestigt. Es gehört *c* zu einem weiten Rohre, womit ein Ring *d* verbunden ist, und in dieses ist ein engeres Rohr *e* eingelassen mit einem bei *f* befindlichen Triebe, dessen geränderter Knopf bei *g* hervorsteht. In diesem zweiten Rohre steckt das noch engere Rohr *h*, welches oben einen Schraubengang hat, um das Linsensystem *l* darauf zu befestigen, unten aber das Diaphragma *o* besitzt, um das überflüssige Licht abzuhalten. Durch Umdrehen des Knopfes *g* kann dieses innerste Rohr auf- und niedergeschoben werden. Mehrere Schrauben dienen dazu, die Axe dieses Apparates mit der Axe des Mikroskoprohres zusammenfallend zu machen: durch die Schraube *i* wird die Platte *ab* horizontal bewegt, und drei oder noch mehr andere (zwei davon sind bei *p* und *r* sichtbar), welche durch den Ring gehen, sind dazu bestimmt, das innerste Rohr in verschiedenen Richtungen zu bewegen. Ohne das achromatische Linsensystem kostet dieser Apparat 2 Pfund Sterling.

Fig. 148.



Beleuchtungsapparat von Ross.

Was die Beleuchtungslinsen selbst betrifft, so gilt es bei den englischen Mikroskopen als Regel, dass jenes Objectiv in den Beleuchtungsapparat kommt, welches dem als wirkliches Objectiv gebrauchten in der Schärfe vorhergeht. Kommt es aber nicht auf die Kosten an, so wird ein System von drei achromatischen Doppellinsen beigegeben, die ausdrücklich dafür bestimmt sind: zum stärksten Objective nimmt man das gesammte System, zu den Objectiven von mittlerer Stärke benutzt man zwei von diesen Doppellinsen, und bei schwächeren Vergrösserungen nur eine einzige. Dabei findet die Anweisung statt, dafür zu sorgen, dass das Bild der Lichtquelle, also die Flamme einer Lampe oder eine weisse Wolke, genau auf die Stelle des Objectes fallen und zwar so, dass der Mittelpunkt des Bildes in der Axe des Instrumentes liegt.

Die Engländer haben sich neuerer Zeit auch immer mehr darauf verlegt, den Linsensystemen dieser Beleuchtungsapparate eine grosse Oeffnung zu verschaffen, damit sehr stark divergirende oder convergirende Strahlenbündel auf das Object treffen können. Namentlich haben sich Powell und Lealand darin hervorgethan, und bereits 1859 lieferten diese einen achromatischen Condensator mit 170° Oeffnung (*Quart. Journ.* XXX, p. 106).

Ein Nachtheil klebt aber allen bisher beschriebenen Beleuchtungsapparaten an: sie passen nur zur centrischen Beleuchtung, da die Linsen in den

Röhren sich nicht in eine schiefe Stellung bringen lassen, also kein excentrisches concentrirtes Licht auf das Object zu leiten vermögen. Dies fällt selbst mit einem achromatischen Linsensysteme sehr schwer und bedarf man eines solchen Lichtes, dann leistet ein einzelner Hohlspiegel bessere Dienste, oder eine planconvexe Linse, die wie in Amici's Mikroskope (Fig. 89, S. 169) an einer besonderen Stange unterhalb des Objecttisches sich auf und abschiebt, dabei auch zur Seite gedreht werden kann.

102 Das jetzt am meisten gebräuchliche Diaphragma ist die drehbare, mit Löchern versehene Scheibe, welche schon in Fig. 39 dargestellt wurde. Sie findet sich bei den Mikroskopen von Chevalier, Lerebours, Brunner, bei den kleinen Mikroskopen Oberhäuser's, bei den grossen Mikroskopen Nachet's, sowie bei den Instrumenten von Powell, von Ross, von Smith. Bei den drei letzteren ist sie an einer besonderen Platte befestigt, die man nach Belieben unter den Objecttisch bringen und wieder wegnehmen kann, wenn man den achromatischen Beleuchtungsapparat gebrauchen will. Statt der drehbaren Scheibe nahm Goring bei seinem katadioptrischen Mikroskope eine verschiebbare Platte mit mehreren Oeffnungen. Eine ähnliche Art von Diaphragmen benutzt auch Nachet bei seinen kleineren Mikroskopen. Die Wirkung ist ziemlich die nämliche; allein eine solche Platte ist weniger bequem als eine Scheibe, die sich durch den eingekerbten Rand viel leichter mit Einem Finger herumdrehen lässt.

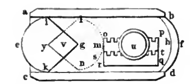
Oberhäuser und Powell fügen ihren Mikroskopen noch ein anderes drehbares Diaphragma bei, das grösser ist, aber ebenfalls eine Scheibe mit runden Oeffnungen von verschiedener Grösse darstellt. Dieses Diaphragma kommt perpendiculär oder unter einem bestimmten Neigungswinkel auf ein dazu bestimmtes Fussstück, zwischen die Lichtquelle und den Spiegel; es passt hauptsächlich bei künstlichem Lichte, um den Durchmesser des divergirenden Lichtkegels, der auf den Spiegel fällt, zu verändern.

Einer anderen Art von Diaphragmen bedienen sich Varley, Oberhäuser und dessen Nachfolger Hartnack, und weiterhin auch noch andere Optiker. Varley beschrieb sie 1831 als *Camera obscura* (*dark chamber*) in den *Transact. of the Soc. of Arts.* Vol. 48. In Deutschland nennt man sie Cylinderblendungen. Es sind nämlich, wie in der Nebenfigur von Fig. 82, S. 149 zu ersehen ist, kurze Röhrchen, die oben geschlossen sind und dort bei *o* eine grössere oder kleinere Oeffnung besitzen. An dem auf S. 151 beschriebenen Mikroskope haben diese Oeffnungen Durchmesser von 4,1 und 0,5 Millimeter. Die kleinsten sind für die stärksten Linsensysteme bestimmt. Ein solches Röhrchen kommt in ein weiteres Rohr (*qp* in Fig. 82) unter dem Objecttische, das wieder in die runde Oeffnung einer Platte passt, worin es auf- und niederbewegt

werden kann, um auf diese Weise das vom Spiegel kommende Lichtbündel verschmälert oder mehr breit eindringen zu lassen. Bei den älteren Oberhäuser'schen Mikroskopen geschieht das durch einen Hebel, und die Diaphragmen können nur nach Entfernung des Objectes gewechselt werden; bei den neueren Instrumenten dagegen (Fig. 83 *A*, S. 151) ist es verbessert. Die Platte nämlich, worin jenes das Diaphragma *a* enthaltende Röhrchen *p* sich auf- und niederbewegt, ist in den beiden schwalbenschwanzförmigen Leisten *rr* verschiebbar und kann herausgezogen werden, wenn man ein Diaphragma mit einem anderen vertauschen will. Damit verbindet sich auch noch der Vortheil, dass man die Oeffnung gewünschten Falles ausserhalb der Axe bringen kann und der Schatten ihres Randes ins Gesichtsfeld trifft, was in einzelnen Fällen vortheilhaft sein kann.

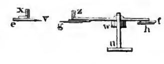
Ein Diaphragma von ganz eigenthümlicher Construction, das meines Wissens noch nicht beschrieben worden ist, befindet sich an einem in Utrecht befindlichen Mikroskope von Dollond. Dasselbe ist von der untern Seite in Fig. 149 und im Durchschnitt in Fig. 150 dargestellt.

Fig. 149.



Diaphragma eines Dollond'schen Mikroskopes von unten.

Fig. 150.



Diaphragma eines Dollond'schen Mikroskopes im Durchschnitte.

Die länglich vierseitige Platte *abcd* hat zwei seitliche Leisten, die rinnenförmig ausgeschweift sind, um zwei andere Platten aufzunehmen, die übereinander gleiten können. Diese letzteren haben rechtwinkelige Ausschnitte und bilden so zusammen eine vierseitige Oeffnung *v*, deren Grösse je nach der relativen Stellung beider Platten wechselt. In der ersten dieser Platten, nämlich *ef*, kommen zwei Oeffnungen vor, *ylmn* und *oprq*, welche letztere längs des Rades *op* gezahnt ist. Die zweite oder untere von den beweglichen Platten, nämlich *gh*, ist die kleinere; an ihrem äusseren Ende *g* ist der rechtwinkelige Ausschnitt *igk*, und in der Nähe des andern Endes befindet sich auch eine länglich vierseitige Oeffnung mit dem gezahnten Rande *st*. Der geränderte Knopf *u*, den man in beiden Figuren sieht, setzt das gezahnte Rad *w* in Bewegung, dessen Zähne zu beiden Seiten in die Zähne der beiden Platten eingreifen; diese bewegen sich daher gleichzeitig in entgegengesetzten Richtungen über einander, und dadurch wird die Oeffnung *v* grösser oder klei-

Digitized by Google

ner. Damit die Ränder dieser Oeffnung möglichst in der nämlichen Ebene liegen, sind die Messingplatten an derselben keilförmig zugeschärft, wie man in Fig. 150 sieht. Die feste Platte *abcd* hat gleich über r eine runde Oeffnung mit einem Ringe *xz*, wodurch das Diaphragma unter dem Objecttische angeschraubt wird.

Diese Einrichtung gestattet alle Stufen der Lichtintensität einwirken zu lassen. In dieser Beziehung wetteifert damit die von Al. Bryson (*Edinb. new Philos. Journ.* 1850. Jan. p. 19) empfohlene Einrichtung, der zwei Nicol'sche Prismen unter den Objecttisch bringt, von denen das eine sich um seine Axe drehen kann. Indessen lassen solche Kalkspathprismen nur einen Theil des Lichtes durch, welches durch den Spiegel reflectirt wird, und zweitens ist diese Einrichtung auch viel zusammengesetzter und deshalb kostspieliger, als die eben beschriebene.

Der Dollond'schen Einrichtung ähnelt die ganz neuerdings von Sidney B. Kincaid (*Quart. Journ.* 1866, p. 75) beschriebene. Unter dem Objecttische wird ein Messingrohr angeschraubt, worin eine Kautschukröhre steckt, die oben wie unten an einen messingenen Ring befestigt ist. Der untere Ring ist mit einem messingenen Röhrchen verbunden, das in dem ersten oder äusseren Messingrohre sich herumdreht. Einer Drehung dieses Ringes folgt natürlich die Kautschukröhre. Da diese aber durch den oberen Ring festgehalten wird, so kommt es zu einer Torsion, und ihre Wandungen nähern sich in der Mitte einander, wobei zwei stumpfe Kegel oder Trichter entstehen, deren Spitzen einander zugekehrt sind. Die gemeinschaftliche Oeffnung an der Stelle, wo diese Spitzen an einander stossen, wird um so kleiner, je weiter die Torsion vorschreitet.

Ferner hat A. Töpler (Poggendorff's *Annalen*, 1866. CXXVII, S. 556) anempfohlen, man solle im Mikroskoprohre, gleich oberhalb des Punktes, wo die vom Objectivsysteme ausgehenden Strahlenbündel sich kreuzen, bei starken Systemen mithin in geringer Entfernung von der obersten Doppellinse, ein verschiebbares Plättchen anbringen. Er bezeichnet diese Einrichtung als Schlierenapparat; es komme dadurch ein Schatten ins Gesichtsfeld und so werde es möglich, geringe Brechungsunterschiede am Objecte zur Wahrnehmung zu bringen. — Ein solcher Schieber wirkt allerdings wie ein verschiebbares Diaphragma, wodurch ein mehr oder weniger grosser Theil des Strahlenbündels abgeschnitten wird. Verschiebbare Diaphragmen unterhalb des Objecttisches sind nun schon seit langer Zeit in Gebrauch (I, S. 236), und man weiss auch, dass einzelne schwer wahrnehmbare Details eher sichtbar werden, wenn durch den Rand der Oeffnung eines solchen Diaphragma im Gesichtsfelde ein Halbschatten entsteht. Es fragt sich daher, ob ein solcher Diaphragmaschieber innen im Mikroskoprohre anders wirkt, als das verschiebbare oder drehbare Diaphragma mit Oeffnungen unterhalb des Objecttisches.

Digitized by Google

Ich habe Töpler's Einrichtung hierauf geprüft, und die Ueberzengung gewonnen, dass der nutzbare Effect in beiden Fällen ganz der nämliche ist. Es bestehen daher keine überzeugenden Gründe für ein Annehmen der Töpler'schen Einrichtung, es müsste denn der Beleuchtungsapparat so eingerichtet sein, dass ein bewegliches Diaphragma nur schwer anzubringen wäre; dann könnte man allerdings den Schieber im Innern des Mikroskoprohres in geringer Entfernung vom Objective benutzen. Es wird sich aber in einem solchen Falle immer empfehlen, statt eines kurzen verschiebbaren Plättchens ohne Oeffnungen ein längeres Plättchen oder eine drehbare Scheibe mit ungleich grossen Oeffnungen in das Mikroskoprohr zu bringen. Ein solches inneres Diaphragma kann unter Umständen auch dazu benutzt werden, durch centrische Stellung der Oeffnung einen mehr oder weniger grossen Theil der Randstrahlen abzuschneiden, oder aber einen Theil der Strahlen zunächst der Axe, wenn nicht die Oeffnung selbst, sondern ein Theil der Scheibe in die Bahn des Strahlenbündels gebracht wird.

Ich habe hier auch noch eines Vorschlages von B. W. Richardson (*Quart. Journ.* 1866, p. 10) zu erwähnen, der die schwer zu erkennenden Streifensysteme mancher Diatomeen dadurch sichtbar machen will, dass er die runden Oeffnungen im Diaphragma durch zusammengesetztere Figuren ersetzt, z. B. durch eine grössere Anzahl dichtgedrängter kleiner Löcher, durch sternförmig gruppirte kleine Spalten u. s. w. In einzelnen Fällen kann vielleicht auch auf diesem Wege eine vortheilhafte Wirkung erzielt werden.

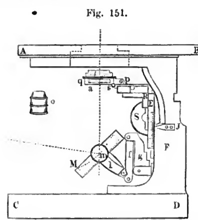
Einen nach den früher (I, §. 203 flg.) entwickelten Principien construirten Beleuchtungsapparat lieferte mir 1850 Nachet, und ich beschrieb ihn in *Nederl. Lancet*, *2de Serie*, VI, p. 457. Später habe ich durch die Instrumentenmacher Straatemeyer und Olland in Utrecht noch einige Verbesserungen daran anbringen lassen. Mittelst dieses Apparates kann man beleuchten: 103

1. mit gewöhnlichen parallelen Strahlen;
2. mit concentrirtem parallelem Lichte;
3. mit divergirendem Lichte von verschiedenem Divergenzgrade;
4. mit convergirendem Lichte von verschiedenem Convergenzgrade;
5. mit schief einfallendem Lichte, und zwar unter verschiedenen Einfallswinkeln, bei parallelen sowohl als bei convergirenden oder divergirenden Strahlen;
6. mit Axenstrahlen, unter Ausschluss von mehr oder weniger vielen Randstrahlen;
7. mit Randstrahlen, unter Ausschluss von mehr oder weniger vielen Axenstrahlen.

Dieser Beleuchtungsapparat ist in halber Grösse in Fig. 151, 152

und 153 dargestellt, und zwar so, wie er an ein grosses Oberhäuser'-sches Mikroskop befestigt ist. Er kann aber auch an jedes andere Mikroskop kommen, wo zwischen dem Objecttische und dem Fusse des Instrumentes (sie sind in den Figuren mit *AB* und *CD* bezeichnet) hinreichender Raum übrig bleibt.

Fig. 151.



Der Spiegel *M* ist auf der einen Seite eben, auf der anderen concav; die Brennweite des Concavspiegels beträgt 45 Millimeter. Der Spiegel hängt auf gewöhnliche Weise in dem Bügel *l*, der nach unten mit dem Stück *e* in Verbindung steht mittelst eines Stiftes, um den er sich drehen kann. Bei centrischer Stellung des Spiegels, wie in Fig. 151, wo sein Mittelpunkt in der optischen Axe des ganzen Instrumentes liegt, ist er daher nur in der horizontalen und verticalen Ebene beweglich.

Fig. 152.

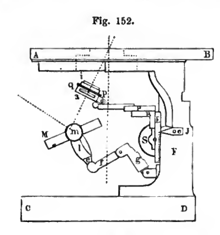
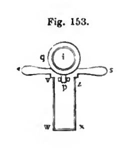


Fig. 153.



Harting's vollständiger Beleuchtungsapparat.

Für die excentrische Stellung sind die durch Charniergelenke verbundenen Stücke *e*, *f* und *g* bestimmt, deren Einrichtung aus Fig. 152 ersichtlich ist. (Die verschiedenen Einschnitte am Stücke *g* dienen blos dazu, für die Bewegung des Stückes *E* Raum zu schaffen.) Durch diesen

gegliederten Arm kann man den Spiegel mannigfach gegen die Fläche des Objecttisches neigen, von 40° bis zu 90°, oder in Beziehnng zur optischen Axe von 0° bis 50°. Eine planconvexe Linse *i* von 13,5 Millimeter Brennweite (wegen anderer Zwecke ist sie am besten achromatisch), die man nöthigenfalls mit einem achromatischen Linsensysteme von kürzerer Brennweite vertauscht, steckt in einem Ringe, der in einen zweiten Ring *q* geschraubt werden kann. Der letztere, wie aus Fig. 153 ersichtlich, ist durch ein Charnier *p* mit der Platte *vwxz* verbunden; diese Platte aber hat schief abgeschnittene Ränder, nnd lässt sich auf dem Stücke *P* hin- und herschieben, zu welchem Ende beiderseits die kleinen Handhaben *ss* daran angebracht sind. Bei der stärksten Zurückschiebung befindet sich der Mittelpunkt der Linse oder des Linsensystems gerade in der optischen Axe.

Um die Linse oder das Linsensystem höher oder tiefer stellen zn können, ist das Stück *P* mittelst des knieförmig gebogenen Stücks *R* an *E* befestigt, welches durch einen Trieb, wozu der Knopf *S* gehört, auf- und abbewegt werden kann. Auf *E* ist aber eine Eintheilung in Millimeter eingeschnitten und durch den unbeweglichen Index *J* wird der relative Stand der Linse angegeben. In einer kleinen Tabelle kann man sich dann ein für alle Mal verzeichnen, was man späterhin beim Gebranche dieses Beleuchtungsapparates zu wissen braucht.

Zunächst gehört zu diesem Belenchtnngsapparate ein Diaphragma, welches eine Nachahmung des eben beschriebenen Dollond'schen Diaphragma (Fig. 149 und 150) ist; es wird mittelst einer Schraube unten an den Ring *q* befestigt. Damit kann man das Lichtbündel bis zu jedem gewünschten Grade verschmälern, indem man Randstrahlen abschneidet.

Da es aber in vielen Fällen vortheilhaft ist, wenn die Oeffnung des Diaphragma nicht gerade mitten unter der Linse sich befindet, so gehört noch das in Fig. 154 dargestellte Diaphragma dazn, nämlich eine länglich vierseitige Messingplatte mit ungleich grossen Oeffnungen, welche in dem die Linse tragenden Ringe hin- und hergeschoben werden kann. Mit dieser Platte ist auch noch ein kleiner Rahmen verbunden, worin sich eine Glastafel befindet, auf welche geschwärzte runde Stanniolscheibchen von ungleicher Grösse aufgeklebt sind. Kommen diese unter die Linse, so lässt sich damit ein mehr oder weniger grosser Theil der Axenstrahlen abschneiden. Der Rahmen und die damit verbundene Glasplatte haben eine solche Länge, dass, wenn sich ein solches undurchsichtiges Scheibchen genau mitten unter der Linse befindet, die gleichnamige Ziffer 1, 2, 3


Fig. 154.



Diaphragma zu Harting's Beleuchtungsapparate.

oder 4 auf der anderen Platte gerade unter den Rand des Objecttisches kommt; dadurch ist man in den Stand gesetzt, den Scheibchen eine centrische Stellnng zu ertheilen.

Wie dieser Beleuchtungsapparat benutzt wird, ist leicht einzusehen. Sind die Brennweiten des Spiegels und der Linse oder des Linsensystemes bekannt, so kann man mit Hülfe der eingeschnittenen Scala deren relative Abstände leicht dergestalt regeln, dass man nach Verlangen parallele, concentrirte oder nicht-concentrirte, divergirende oder convergirende Strahlen bei jeglicher Neigung zur Axe ins Gesichtsfeld zu leiten vermag. Dabei braucht man sich nur zu erinnern, dass, wenn die Entfernung zwischen der Linse und dem Hohlspiegel der Summe ihrer beiderseitigen Brennweiten gleichkommt, das Licht, welches durch die Linse tritt, aus parallelen Strahlen besteht. Stellt man die Linse tiefer, so nimmt die Divergenz der Strahlen zu, stellt man sie höher, so nimmt ihre Convergenz zu. Ebenso verhält es sich mit dem Linsensysteme; wegen der kürzeren Brennweite desselben kann man aber die Strahlen stärker divergirend und convergirend machen.

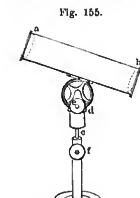
Soll die Beleuchtung mit schief einfallendem Lichte stattfinden, so wird das Stück P nach vorn geschoben, ohne dass man den Spiegel zugleich ebenso bewegt. Will man aber ganz schief einfallendes Licht, dann wird auch der Spiegel nach vorn geschoben und den die Linse umfassenden Ring bringt man in eine geneigte Stellung, wie in Fig. 152.

Bei dieser excentrischen Stellung des Beleuchtungsapparates wirken dann die verschiedenen Diaphragmen ganz ebenso, als wenn sie sich in der Axe des Mikroskopes befinden.

104 Die Beleuchtung mit auffallendem Lichte, haben wir gesehen, ist beim zusammengesetzten Mikroskope seit der ältesten Zeit im Gebrauche. Es wurde schon angegeben, dass Hooke zu diesem Ende das Licht durch eine mit Wasser gefüllte Kugel und eine biconvexe Linse verstärkte (Fig. 59, S. 99), dass Hertel einen Hohlspiegel in Verbindung mit einer Linse benutzte (Fig. 68, S. 112), dass Leeuwenhoek, um undurchsichtige Objecte mit dem einfachen Mikroskope zu beleuchten, die Linse in die Mitte eines concaven Metallspiegels brachte (Fig. 6, S. 39), was Lieberkühn weiterhin allgemein einführte, Cuff (Fig. 71, S. 115) aber auch aufs zusammengesetzte Mikroskop anwandte. Ein Apparat zur Beleuchtung undurchsichtiger Objecte wurde 1798 von Swaving (*Natuurkundige Verhandelingen van de Maatschappy der Wetenschappen te Haarlem* I, p. 41) beschrieben; derselbe ist Fig. 155 dargestellt. Ein messingenes Rohr nämlich hat an beiden Enden die biconvexen Linsen a und b, durch deren vereinigte Wirkung das Licht verstärkt wird. Die Mitte des Rohres ruht auf dem oberen Theile der Stange c, und kann hier durch das Rad d und den Knopf e unter verschiedenen Winkeln geneigt werden.

Die Stange *c* kommt entweder in eine Oeffnung des Objecttisches, oder auf ein besonderes Fussstück, auf dem sie durch die Klemmschraube *f* höher oder tiefer gestellt werden kann.

Fig. 155.



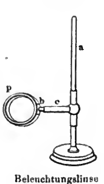
Swaving's Beleuchtungsapparat.

Ich habe ferner schon angeführt, dass Selligue statt einer Beleuchtungslinse ein Prisma mit convexen Oberflächen anwandte und dass Plössl (Fig. 92, S. 182) dieses Beispiel nachahmte.

Andere Optiker indessen gaben der Swaving'schen Einrichtung den Vorzug, und man findet sie mit einigen untergeordneten Modificationen fast bei allen neueren Mikroskopen. Bei den Mikroskopen von Chevalier, desgleichen von Amici (Fig. 89, S. 169), ist die Linse an einem gegliederten Arme angebracht, der entweder am Mikroskoprohre sitzt, oder an dem das Mikroskoprohr tragenden Arme. Bei dieser Einrichtung kann die Linse aber nur klein sein, wenn sie nicht zu schwer werden soll für die Gliederung; deshalb haben Oberhäuser und die englischen Optiker dem in Fig. 156 dargestellten Beleuchtungsapparate den Vorzug gegeben. Eine grössere Linse *p* kann hier an einer auf einem besonderen Fussstücke ruhenden runden Stange *a* auf und ab geschoben werden; der Arm *b* aber, der die Linse trägt, dreht sich in einer horizontalen kurzen Röhre *c*, wodurch die Linse in die verschiedenartigsten Neigungen gebracht werden kann.

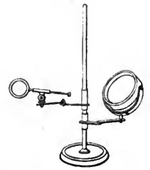
Manchmal ist es wünschenswerth, namentlich bei künstlichem Lichte, das durch eine grössere Linse bereits concentrirte Licht durch eine kleinere Linse mit kürzerer Brennweite noch mehr zu concentriren. Das kann durch die Vorrichtung von Leonard (Quekett l. l. p. 108) er-

Fig. 156.



Beleuchtungslinse von Ross.

Fig. 157.



Beleuchtungslinse nach Leonard.

reicht werden, die in Fig. 157 (a. v. S.) abgebildet ist und wohl keiner weiteren Beschreibung bedarf.

105 Bei stärkeren Vergrösserungen kann die Concentration des auffallenden Lichtes nur durch kleine Hohlspiegel erreicht werden. Dergleichen lassen sich noch füglich benutzen bei Objectivsystemen von 5 bis 6 Millimeter Brennweite, die bis höchstens 300 Mal vergrössern. Viele Optiker fügen sie ihren Mikroskopen nur auf besonderes Verlangen bei, und offenbar sind sie auch gegenwärtig nicht so nöthig, wie früherhin, wo die Objective eine kleinere Oeffnung hatten, und deshalb auch geringere Lichtstärke gaben. Sie unterscheiden sich aber, wie oben (I, §. 210) dargethan wurde, in ihrer Wirkungsweise einigermaassen von den Beleuchtungslinsen, so dass sie sich zur Beleuchtung mancher Objecte doch besser eignen. Nach einer Mittheilung Wenham's (*Quart. Journ.* 1856. XVI, p. 55) hat Ross ein solches Spiegelchen gefertigt, das noch mit den stärksten Vergrösserungen zur Beleuchtung unbedeckter Objecte benutzt werden kann.

Um das von unten auf das Object fallende Licht abzuhalten, benutzt man am besten, wie es in England gebräuchlich ist, kleine muldenförmig ausgehöhlte Scheiben, die am Ende eines dünnen Stieles befestigt sind (Fig. 158). Der kleine Stiel passt in einen Arm (z. B. Fig. 103 in *e*), der sich unter dem Objecttische befindet und gerade in die Mitte seiner Oeffnung gebracht wird, wo dann die muldenförmige Scheibe so hoch hinaufgeschoben werden kann, bis sie fast unten ans Object stösst. In Fig. 159 ist dies im Durchschnitte dargestellt: *a* ist das Mikroskoprohr, *b* das Objectiv, *c* das concave Spiegelchen, *d* das Object, *e* das Scheibchen, wodurch die mittleren Strahlen abgehalten werden.

Eine meines Erachtens zweckmässige Veränderung wurde von

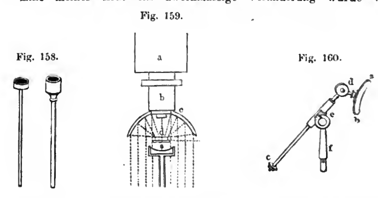


Fig. 158. Gestielte Lichtstopfen.

Fig. 159. Der Concavspiegel und der Lichtstopfen am zusammengesetzten Mikroskope.

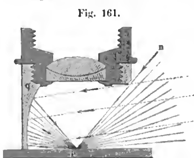
Fig. 160. Spiegelchen zur seitlichen Beleuchtung von Ross.

W. Kencely Bridgeman (*Quart. Journ.* 1865. N. Ser. XVIII, p. 148) vorgeschlagen. Nicht das Licht von der ganzen Oberfläche des Spiegels, sondern nur von einem Abschnitte desselben will er aufs Object werfen, wodurch die Schatten stärker hervortreten. Zu dem Ende klebt er ein Dreieck mattschwarzen Papiers auf die gewölbte Fläche des Spiegels. Hat der drehbare Spiegel einen gekerbten Ring, der zwischen Daumen und Zeigefinger gefasst wird, so kann das Licht successive auf alle Theile des Objectes geworfen werden.

Schon vor mehreren Jahren hat aber Ross das in Fig. 160 dargestellte Spiegelchen behufs seitlicher Beleuchtung in Vorschlag gebracht. Das Spiegelchen *ab* ist gelenkartig mit *cd* verbunden, welches durch ein Charnier *e* mit dem kurzen Stifte *f* zusammenhängt; letzterer kommt aber in eine Oeffnung des Objecttisches, seitlich vom Objecte, so dass das Spiegelchen sein Licht durch eine condensirende Linse empfängt und es auf das Object reflectirt. Pritchard (*Microsc. Illustrations*, Ed. 3, p. 141) hat diese Beleuchtung darin verändert, dass er zur Seite des Mikroskopes einen horizontalen Spiegel anbringt, von dem das Licht auf das kleine Spiegelchen geworfen wird. Aus eigener Erfahrung kann ich nichts über diesen Beleuchtnngsapparat sagen; der vorgesteckte Zweck scheint mir aber durch die seitlich vom Objecte befindliche Linse gleich gut erreicht werden zu können, und dabei mit geringerem Lichtverluste und mit mehr Beqnemlichkeit.

Naegeli und Schwendener (*Das Mikroskop*, I, S. 96) haben noch eine andere Einrichtung in Vorschlag gebracht, um ebenfalls eine seitliche Beleuchtung durch auffallendes Licht zu erzielen. Dieselbe erhellt aus Fig. 161. Sie wollen nämlich unter dem Objective einen cylindrischen, oder noch besser einen parabolischen Hohlspiegel *q* befestigen, der das Licht des Himmels durch ein Fenster erhält und es auf das Object bei *p* reflectirt.

Fig. 161.



Beleuchtungsapparat von Naegeli und Schwendener.

Die Beleuchtung durch eine Linse ist in den meisten Fällen nicht nur die einfachste, sondern auch die vorzüglichste Methode.

106 Man ist aber auch noch auf die Herstellung von Mitteln bedacht gewesen für jene Fälle, wo die bisher erwähnten Apparate zur Beleuchtung der Objecte mit auffallendem Lichte nicht ausreichen. Dahin gehört das ringförmige Prisma Riddell's vom Jahre 1853, und besonders die seit

1856 bekannte Methode **Wenham's**, die Belenchtung durch totale Reflexion an der Oberfläche des Deckplättchens zu Stande zu bringen. Von beiden Methoden ist bereits früher (I, §. 211) die Rede gewesen, und ich habe dort auch bereits einiger Modificationen gedacht, die ich bei **Wenham's** Methode habe eintreten lassen.

Neuerer Zeit ist man dann noch auf eine andere Methode verfallen, die in der Hauptsache darauf hinaus läuft, das Objectivsystem selbst als Condensator zu benutzen, indem man das Licht durch eine seitliche Oeffnung des Mikroskopes eine reflectirende Fläche erreichen und von dieser durch das Objectiv hindurch zum Objecte selbst gelangen lässt. Kommt diese Idee zur Ausführung, so werden gleich gut wie bei der gebräuchlichen Benutzung durchfallenden Lichtes, Objective mit ganz kurzer Brennweite in Anwendung gezogen werden können.

Unterm 13. December 1865 wurde der *Microscopical Society* durch **Wenham** (*Quart. Journ.* April 1866, p. 114) mitgetheilt, dass **Hewitt** bereits vor 5 Jahren auf diese Idee gekommen war, und dass dieselbe damals auch wirklich von **Wenham** zur Ausführung gebracht wurde, indem er in das Mikroskoprohr ein Spiegelchen mit hinreichend grosser centraler Oeffnung brachte, wodurch das vom Objective kommende Strahlenbündel treten konnte. Das Spiegelchen selbst war schief gestellt und bekam das Licht durch eine seitliche Oeffnung. Es ergab sich übrigens, dass damit zu vieles Licht auf das Object reflectirt wurde und durch diese Reflexion ein Glanz entstand, weshalb das Object nur wie durch einen Nebel gesehen wurde. Aus diesem Grunde liessen **Wenham** und **Hewitt** die Idee wieder fallen.

Die nämliche Idee wurde dann vom Professor **H. J. Smith** am Benyon College in Ohio verfolgt; die Ausführung indessen, wie sie im *American Journ. f. Sc. and Arts*, Sept. 1865 mitgetheilt wird, ist etwas anders ausgefallen. Zwischen dem unteren Ende des Mikroskoprohres und dem Objective wird nämlich ein Stück eingefügt: das ist ein Kästchen mit einer seitlichen Oeffnung, und darin ein kleines Spiegelchen, welches in etwas excentrischer Stellung eine derartige Neigung bekommen kann, dass jenes durch die Oeffnung eintretende Licht durch das Objectiv auf das Object hin geworfen wird.

Ein Muster solcher Einrichtung kam alsbald nach London, woselbst sie **Powell** und **Lealand** durch Herrn **Lobb** kennen lernten. * Diese ersetzten das kleine Spiegelchen durch eine grössere Glasplatte mit parallelen Oberflächen, die unter einem Winkel von 45° in ein kurzes röhrenförmiges Zwischenstück eingesetzt ist. Das durch die seitliche Oeffnung eintretende Licht wird theilweise von der Unterfläche der Glasplatte reflectirt und gelangt durch das Objectiv zum Objecte. Die Strahlen aber, welche von hier wiederum reflectirt werden, treten zum grösseren Theile

wenigstens durch die Glasplatte nnd erreichen so das Auge (*Quart. Journ.* 1866. Jannary, p. 52. April, p. 36, 56, 113).

Bald darauf beschrieb anch Richard Beck eine wiederum veränderte Einrichtnng. Die dickere Glasplatte wurde hier durch eine sehr dünne Deckglasscheibe ersetzt nnd auf einem runden Stiele befestigt, von dem ein Knopf nach aussen hervorragt, womit man den Neigungswinkel der kleinen Scheibe den Umständen gemäss verändern kann. Ausserdem kann aber anch das röhrenförmige Zwischenstück, worin die kleine Glasscheibe steckt, nm seine Axe gedreht werden, damit die letztere in die vortheilhafteste Stellung zur Lichtquelle gelangt.

Browning (*Quart. Journ.* 1866, April, p. 57) ersetzte das Spiegelchen in der Smith'schen Einrichtung durch ein kleines rechteckiges gläsernes Prisma, und Dancer (Ih. p. 133) vereinfachte die Sache dadurch, dass er das Zwischenstück wegliess nnd das reflectirende Spiegelchen in das Mikroskoprohr selbst brachte, worin sich eine seitliche Oeffnung für den Eintritt des Lichtes befindet.

Dancer nnd ebenso Hewitt (Ih. p. 57) suchten das nämliche Ziel auch dadurch zn erreichen, dass sie das Ocular vom schiefen Rohre des Wenham'schen hinoculären Mikroskopes (Fig. 124) wegnahmen und durch einen Spiegel ein Lichtbündel hineinwarfen, welches dnrch die eine Hälfte des Ohjectives auf dem Objecte concentrirt wird, während die andere Hälfte des Ohjectives nebst dem geraden Rohre des Mikroskopes zur Anschaunng des Ohjectes dienen.

Die Erfahrung wird über den Werth der verschiedenen Modificationen, wie man das zu Grunde liegende Princip verwirklichte, zu entscheiden haben. Unverkennbar muss aber hei allen ein Theil jener Lichtstrahlen, die vom Objecte dnrch das Objectiv treten, nnbenutzt verloren gehen. Das Spiegelchen mit einer Oeffnung lässt nur jene Strahlen dnrch, welche in der Nähe der Axe verlaufen; das Spiegelchen, welches in die Axe oder nahe der Axe kommt, lässt nur die Randstrahlen durchtreten; bei dem unter einem Winkel von 45° angebrachten Glasplättchen wird ein Theil jener von unten daranf fallenden Strahlen reflectirt, nnd die durchtretenden weichen von der ursprünglichen Richtung ah; bei Verwendung des binoculären Mikroskopes aher ist nur die Hälfte des Ohjectes wirklich nutzbar. Man darf deshalh nicht erwarten, die Bilder bei dieser Belenchtnng gleich scharf nnd deutlich zu sehen, als wenn man die nämlichen Objective bei einer anderen Beleuchtung verwendet, und würde man zu dieser Beleuchtung nur greifen dürfen, wenn bei Ohjectiven mit sehr kurzer Brennweite die übrigen Beleuchtungsweisen nicht ausreichend sind.

Aus den von Mitgliedern der *Microscopical Society* gefallenen Aeusserungen ersieht man anch, dass dieser Beleuchtungsweise hesondere Bedenken entgegenstehen und dass sich namentlich das nehelartig Glänzende,

Digitized by Google

wodurch die Bilder undeutlich werden und dessen **Wenham** gleich Anfangs Erwähnung gethan hat, nicht gut wegschaffen lässt. Dieses Nebelartige und Glänzende scheint aber dadurch bedingt zu sein, dass das Licht von den Wandungen des Mikroskoprohres, von den die Linsen umschliessenden Röhren, von den Oberflächen der Linsen, sowie endlich von Deckplättchen reflectirt wird. Die Reflexionen vom Mikroskoprohre und von den Linsenfassungen lassen sich wohl durch Schwärzen dieser Theile beseitigen, und das Deckplättchen kann in manchen Fällen wegbleiben; die reflectirenden Oberflächen der Linsen aber werden immer bleiben, und desto störender einwirken, je intensiver das angewandte Licht ist. So ergiebt sich also die Regel, nur so viel Licht durch die seitliche Oeffnung treten zu lassen, als gerade erforderlich ist, um das Object mit seinen Einzelnheiten unterscheiden zu können.

Um diese Beleuchtungsweise selbst prüfen zu können, liess ich vom Instrumentenmacher **Olland** die nöthige Einrichtung an meinem **Amici**'schen Mikroskope (Fig. 89, S. 169) anbringen. Ein vierseitiges Kästchen, welches an den dem Querarme angehörigen Ring *e* geschraubt werden kann, hat oben eine Oeffnung für das mit dem Oculare versehene Mikroskoprohr *f*. Eine Seitenwand dieses Kästchens hat eine Oeffnung und vor dieser befindet sich ein verschiebbares Diaphragma mit runden und spaltenförmigen Oeffnungen von verschiedener Grösse und Weite. In dieses Kästchen kann abwechselnd ein kleines flaches Spiegelchen von 4 Millim. Durchmesser oder ein dünnes Glasplättchen kommen, die an einen dünnen Messingstab befestigt werden, der selbst einen nach aussen vorragenden Knopf besitzt, wodurch jene unter verschiedenen Winkeln gegenüber der in der Seitenwand befindlichen und das Licht einlassenden Oeffnung gestellt werden, damit die Strahlen durch das Objectiv hindurch zum Objecte gelangen. Eine zur Seite der Oeffnung befindliche Lampe oder ein anderes künstliches Licht kann als Beleuchtungsquelle dienen. Will man das gewöhnliche Tageslicht benutzen, so muss dieses erst durch einen seitlich angebrachten Spiegel aufgefangen und in die Oeffnung reflectirt werden.

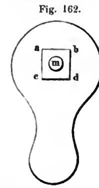
Die Beobachtungen mit diesem kleinen Apparate waren aber nicht dazu angethan, mir eine günstige Meinung über dessen Brauchbarkeit beizubringen. Das Gesichtsfeld ist immer stark erleuchtet, obwohl alles Licht von unten her sorgfältig abgehalten wird und die Linsenfassungen inwendig gehörig geschwärzt sind. Durch diese Gesammterhellung des Gesichtsfeldes, die alleinige und nicht zu beseitigende Folge der Reflexion von den Linsen des Objectives, wird aber die Sichtbarkeit der Objecte, worauf das concentrirte Licht fällt, sehr beeinträchtigt. Sicherlich leistet diese Beleuchtungsweise viel weniger, als wenn man (I, S. 241 bis 245) die Lichtreflexion an der Oberfläche des Deckplättchens eintreten lasst, und dieses letztere Verfahren ist doch ebenfalls bei starken Ob-

jectiven anwendbar. Ich bezweifle daher, dass diese Beleuchtung mit auffallendem Lichte allgemeinen Eingang finden werde.

Eine dritte Beleuchtungsweise mikroskopischer Objecte, nämlich mit 107
polarisirtem Lichte, gehört der neueren Zeit an.

Malus entdeckte 1808 die eigenthümlichen Erscheinungen, die man mit dem Namen der Lichtpolarisation benannt hat, und Brewster (*Edinb. Transactions*, VIII, p. 371. IX, p. 141) untersuchte acht Jahre später mikroskopische Objecte organischen wie anorganischen Ursprungs mit polarisirtem Lichte, und zwar mittelst der Fig. 162 dargestellten Vorrichtung. Er nahm ein einfaches Mikroskop, das nach Art einer Lupe mit der Hand gefasst wurde, und worin sich die Linse *m* befand. Darauf wurde das Turmalinplättchen *abcd* mit etwas Wachs oder Canadabalsam geklebt. Späterhin (*Treatise*, p. 97) empfahl er übrigens zwei planconvexe Linsen zu nehmen, und das Turmalinplättchen zwischen die platten Flächen der beiden Linsen zu bringen.

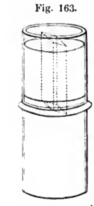
Fig. 162.



Brewster's einfaches polarisirendes Mikroskop.

Zur Darstellung des polarisirten Lichtes benutzte er einen unter einem Winkel von 35° aufgestellten schwarzen Spiegel, oder ein Bündel Glasplatten, oder ein Kalkspathrhomboëder, welches unten gedeckt war, so dass nur eine Oeffnung übrig blieb, gross genug, um die beiden Bilder zu scheiden, die von oben gesehen werden. Das eine Bild wird dann bedeckt, auf das andere aber kommt das Object, welches man unter polarisirtem Lichte beschauen will.

Fig. 163.



Nicol'sches Prisma, zur mikroskopischen Benutzung hergerichtet.

Der Erste, der das zusammengesetzte Mikroskop zum polarisirenden Mikroskope einrichtete, war Henry Fox Talbot (*Phil. Magaz.* V, p. 321. IX, p. 288). Er nahm zwei Nicol'sche Prismen, und brachte das eine als Polarisator unter den Objecttisch, das andere als Analysator über das Ocular. Diese Methode wird auch jetzt noch von Vielen befolgt. Die beiden Prismen sind dann (Fig. 163) in Röhren eingeschlossen: eine davon kommt in die Oeffnung des Objecttisches, die andere aber aufs Ocular. Dadurch wird freilich das Gesichtsfeld sehr klein. Deshalb bringt Chevalier (l. l. p. 75) das oberste Nicol'sche Prisma in die Röhre des Mikroskopes

Digitized by Google

und zwar unmittelbar über das Objectiv. Dann muss der Polarisator eine solche Einrichtung haben, dass er umgedreht werden kann. Das ist aber immer beschwerlicher, als wenn das Ocular umgedreht wird, weshalb ich einem Mittelwege den Vorzug gegeben habe, indem ich das analysirende Prisma gleich unter das Ocular bringe, so dass jene das Prisma enthaltende Röhre in den untersten Theil des Ocularrohres einfugt. Sind die Prismen ziemlich gross, so wird das Gesichtsfeld dann nur wenig verkleinert. Die meinigen sind von E. Wenckebach verfertigt und haben den ungewöhnlich grossen Durchmesser von 16 Millimeter. Das als Polarisator dienende Prisma ist in eine Messingröhre gefasst, die durch ein rechtwinkelig damit verbundenes Stück in meinen Beleuchtungsapparat (Fig. 151 und 152) bei *P* eingeschoben werden kann, so dass die Axe des Prisma mit jener des ganzen Instrumentes zusammenfällt. Zur Verstärkung des Lichtes wird dann noch oben auf die Röhre, welche das Prisma enthält, die nämliche Linse geschraubt, deren man sich auch beim gewöhnlichen Beleuchtungsapparate bedient.

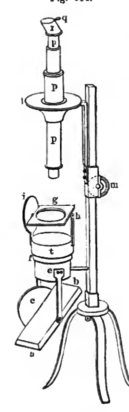
Eine Modification des Nicol'schen Prisma, worauf Hartnack und Prazmowski verfallen sind und die von Deleuil (*l'Institut* 1866, p. 25) zur Ausführung gebracht worden ist, hat eine merkliche Verkürzung des Prisma und zugleich eine Vergrösserung des Gesichtsfeldes zur Folge. Diese Modification läuft wesentlich auf folgende Momente hinaus: der Krystall wird senkrecht auf seine Axe durchschnitten, die Eintrittsfläche und die Austrittsfläche bekommen dann eine bestimmte Winkelstellung im Einklange mit dem Brechungsindex der Zwischensubstanz, wodurch die beiden Hälften verbunden werden, und wozu man nicht Canadabalsam, sondern Copaivabalsam oder Leinöl nimmt. Für diese Substanzen beträgt der Eintritts- und Austrittswinkel 76,5° und 73,5°, das Gesichtsfeld aber 35°.

108 Bei den meisten Untersuchungen mit polarisirtem Lichte kann man mit zwei solchen Prismen, die zwischendurch gebraucht und wieder weggenommen werden, vollständig auskommen. Es giebt aber Fälle, wo ein Apparat mit vollständigerer Einrichtung wünschenswerth ist, und hierzu passt der von Amici seit 1830 gebrauchte, der aber erst später (*Annales de Chim. et de Phys.* 1844. XII, p. 114) beschrieben wurde und in Fig. 164 dargestellt ist. Acht bis zehn Glastafeln sind in einen Rahmen *ab* gefasst, von dem ein Bündel polarisirtes Licht reflectirt wird. Der Rahmen ist um eine horizontale Axe beweglich und mit einem getheilten Kreise *c* versehen; auf die Oberfläche der Glasplatten aber fällt das Licht des Himmels oder einer Lampe mittelst eines Spiegels, der unter dem entsprechenden Neigungswinkel aufgestellt ist.

An der Trommel *e* ist ein getheilter Kreis angebracht, der sich horizontal dreht; die Eintheilung in Grade dient dazu, das Azimuth der

Neigungsfläche zu bestimmen, im Verhältniss zur ursprünglichen Polarisationsebene. An dem Ringe *t* sind zwei Stangen befestigt, darauf ruht der Objecttisch *g*, der sich um eine horizontale Axe *h* bewegt. Ein zur Seite angebrachter Kreis *i* dient dazu, dessen Neigung zu messen, so wie den Winkel, unter welchem der polarisirte Strahl auf die Unterfläche des Objectes trifft. Für den Fall, dass die Einfallsfläche im Verhältniss zum Objecte eine veränderliche wäre, hat der Objecttisch auch noch eine drehende Bewegung um seine eigene Axe.

Fig. 164.



Amici's Polarisationsapparat.

Der Analysator ist ein Kalkspathrhomboëder *r*, welches über dem Mikroskoprohre *p* befindlich ist. Dieses Rohr ist um seine Axe drehbar, und ein daran befestigter Zeiger giebt an dem Kreise *l* den Winkel an, welcher durch den Hauptschnitt des Rhomboëders mit der ursprünglichen Polarisationsebene gebildet wird. Mittelst des geränderten Knopfes *m* lässt sich das Mikroskop in die nöthige Entfernung vom Objecte bringen, welches auf einer Glastafel auf dem Objecttische liegt. Das Kalkspathrhomboëder steht fest; es befindet sich zwischen dem äussersten Oculare und jenem Punkte, wo sich alle Bündel paralleler Strahlen, die aus dem Mikroskope kommen, durchkreuzen. Beim Durchgange durch den Kalkspath theilen sich die Strahlen und es bilden sich zwei Vereinigungspunkte. Hält man nun das Auge successiv über diese beiden Punkte, so sieht man das Feld erleuchtet, entweder durch die auf gewöhnliche Weise gebrochenen Strahlen, oder durch jene, welche auf ungewöhnliche Weise gebrochen wurden. Zu diesem Ende wird die obere Fläche des Rhomboëders mit einem Metallplättchen bedeckt, woran sich ein kleiner Fortsatz *q* befindet; es dreht sich um einen Stift und besitzt eine Oeffnung, die gross genug ist, um nach Willkür eines der beiden Bilder durchzulassen.

Werden die Beobachtungen Abends angestellt bei einer Kerzen- oder Lampenflamme von geringer Extension, so bringt man in die Trommel *e* eine grosse Linse, damit das ganze Feld beleuchtet wird.

Will man mit kreisförmig polarisirtem Lichte untersuchen, so bringt man das Fresnel'sche Parallelepipedum in die Trommel; es steht auf

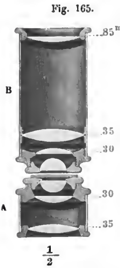
einem Kreise, der horizontal beweglich und an der Peripherie getheilt ist, um das Azimuth der totalen Reflexion im Verhältniss zur Polarisationsfläche zu messen. Das Licht, welches in das Prisma reflectirt wird, nimmt nur das halbe Gesichtsfeld ein; die andere Hälfte des letzteren wird dnrch die Strahlen beleuchtet, die nicht kreisförmig polarisirt sind. Man kann daher die verschiedenen durchs Parallelepipedum erzengten Strahlen in dem nämlichen Augenblicke wahrnehmen, wo sie gleichsam mit einander in Berührung sind.

Um das Instrument noch brauchbarer zu machen und um namentlich auch bei sehr schief einfallenden Strahlen damit beobachten zn können, hat Amici noch ein zweites stärkeres Objectiv zugefügt. Dasselbe sitzt am Ende eines Rohres, welches über das erste Rohr p hinaufgeschoben werden kann. Dadnrch ist das Mikroskop zugleich auch ein pankratisches geworden.

Um endlich das durch die Glasplatten $a\,b$ reflectirte Licht stark convergirend zu machen, bringt man in die Oeffnnng des Objecttisches ein knrzes Rohr mit einem Systeme von Concavlinsen, und auf die oberste von diesen wird das Object gelegt.

Eine etwas andere Einrichtung hat der von Norremberg (*Annales de Chimie et de Physique*. Sept. 1863) beschriebene nnd in Fig. 165 abgebildete Apparat, der dazu bestimmt ist, die Lage der Axen in Krystallen zu ermitteln. Dazu gehören die beiden Rohre A und B, mit drei Linsen in jedem, deren Brennweiten zwar in beiden Rohren übereinstimmen, die aber so angebracht sind, dass sie in entgegengesetzter Richtung auf einander folgen. Die Brennweiten der beiden schwächeren Linsen sind in der Figur gegeben; bei der stärksten hemisphärischen Linse beträgt dieselbe 7 Millim. Oben in dem Rohre B befindet sich noch eine schwächere Linse. Der zu untersuchende Krystall kommt auf den oberen Rand des Rohres A, über die untere hemisphärische Linse. — Dieser Apparat zeichnet sich vornehmlich durch das grosse Gesichtsfeld aus und kann mit verschiedenen Polarisationseinrichtungen in Verbindung gesetzt werden. Man kann ihn z. B. mit dem gewöhnlichen Norremberg'schen Polarisationsapparate verbinden, worin ein reflectirender Spiegel als Polarisator wirkt, eine Säule aus Glasplättchen als Analysator. Diesen Analysator kann man auch mit Albert

Fig. 165.



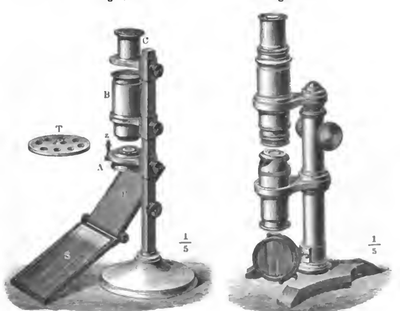
Norremberg's Polarisationseinrichtung.

durch einen Nicol ersetzen. In Fig. 166 ist *C* der Analysator, und *B* und *A* entsprechen dem *B* und *A* der vorhergehenden Figur; *P* ist der polarisirende schwarze Spiegel, *S* ein Spiegel zum Auffangen des Lichtes.

Eine andere Modification hat Hofmann in Paris (Fig. 167) angebracht. Hier wird ein Nicol auch als Polarisator verwendet. — Eine ähnliche Einrichtung hat auch Plössl's Polarisationsapparat, den derselbe für Grailich (*Krystallographisch-optische Untersuchungen*. Wien und Olmütz 1858. S. 43) verfertigte. — Endlich hat auch Descloiseaux (*Annal. des Mines*, 1865 und *Annal. d. Phys. u. Chemie*. CXXVI, S. 387) eine derartige verbesserte Einrichtung beschrieben.

Man hat dergleichen Apparate auch wohl als mikroskopische Polarisationsapparate bezeichnet. Diesen Namen verdienen sie aber kaum, da sie nur sehr wenig vergrössern. Zu eigentlich mikroskopischen Untersuchungen mittelst polarisirten Lichtes eignen sie sich nicht.

Fig. 166. Fig. 167.



Albert's Polarisator. Hofmann's Polarisator.

Die Fälle, wo ein besonders dazu eingerichtetes Polarisationsmikroskop erwünscht sein mag, kommen nur selten vor, und deshalb verdient es im Allgemeinen den Vorzug, wenn dem gewöhnlichen Mikroskope ein besonderer Polarisationsapparat beigegeben wird. Dergleichen Apparate meistens aus zwei Nicol'schen Prismen bestehend, liefern die meisten

Digitized by Google

Mikroskopverfertiger auf Verlangen zu ihren Instrumenten: Nachet zu 15 Thaler, Powell und Lealand zu 2 Pf. 10 Schill.

Manche Optiker haben statt der Nicol'schen Prismen Turmalinplättchen genommen, die allerdings wohlfeiler kommen, aber wegen der bräunlichen Färbung auch viel weniger nutzbar sind. Deshalb nimmt man lieber ein Bündel Glasplättchen, die unter einem Winkel von 35° 20' aufgestellt werden. Amici's Polarisator, wie oben erwähnt, bestand aus einer Schicht solcher Glasplättchen. Wird das ganz dünne Glas für Deckplättchen genommen, so kann man die Menge der Glasplättchen steigern und damit die Polarisation um so wirksamer machen. Für eine verhältnissmässig geringe Summe lässt sich ein solcher Polarisationsapparat nach der Anweisung von Reinicke (*Beiträge* u. s. w. Heft 3, S. 1) herstellen. Nur muss das Deckglas recht rein sein, frei von Luftblasen und Streifen, und jedes Plättchen muss einzeln gereinigt werden. Die vierseitige Kapsel für diese Glasplättchen kann nöthigen Falls aus Pappe gemacht werden. Die richtige Stellung der Glasplättchen erfordert übrigens Ueberlegung und eine gewisse Geschicklichkeit, worüber das Nähere bei Reinicke nachgesehen werden muss. Eigentlich kommt es nur darauf an, dass das unterste Plättchen die richtige Stellung bekommt, die übrigen lässt man dann eines nach dem anderen darauf fallen, bis sie in erforderlicher Menge einander decken. Mit 25 solchen Glasplättchen erzielte Reinicke schon eine recht gute Wirkung, und über 30 soll man nach ihm nicht gehen dürfen.

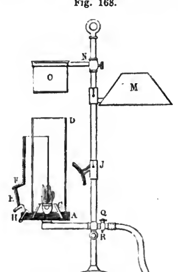
109 Da die Benutzung des Gases im Inneren der Häuser immer mehr zunimmt, so mag hier auch die Gaslampe näher beschrieben werden, welche Highley (*Quart. Journ.*, January 1853, p. 142) zur Benutzung beim Mikroskope eingerichtet hat, wie es Fig. 168 dargestellt ist.

An einer auf einem Fussstücke stehenden bronzenen oder messingenen Stange sitzt ein beweglicher Arm mit dem Ringe A, der von unten durch ein Drahtgitter bedeckt wird, um eine ruhige, nicht flackernde Flamme zu bekommen. Innen auf dem Ringe befindet sich ein Metallkegel C, dessen oberer abgestutzter Rand die Basis der Flamme erreicht und hier eine Oeffnung von $^1/_8$ Zoll Durchmesser besitzt. So bekommt man eine blendende cylindrische Flamme. Das Gas wird durch eine Kautschukröhre aus der Gasleitung zugeführt und sein Austritt wird durch den Hahn Q regulirt.

Um das Licht durch Entziehung der gelben Strahlen weisser zu machen, wird die Flamme mit dem aus lichtblauen Glase bestehenden Schornsteine D umgeben. Hierdurch wird die Farbe der Flamme schon bis zu einem gewissen Grade verbessert, noch mehr aber durch eine bläulich grau gefärbte Glasscheibe E, die in eine kurze geneigt gestellte Röhre gefasst ist. Diese Röhre ist dann mit dem halbcylindrischen

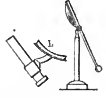
Schirme *F* verbunden, der sich mittelst des Elfenbeinknopfes *H* um den Ring *A* herumdrehen kann, so dass der Schirm sich auch nach der andern Seite bringen lässt, wenn man das volle Licht der Flamme haben will.

Fig. 168.



Parallel der Glasscheibe *E* steht der concave Metallspiegel *J*, der an der Stange sitzt. Das auf diese Weise concentrirte Licht lässt sich nöthigenfalls durch eine Linse noch mehr concentriren.

Die nämliche Lampe kann auch als gewöhnliche Studirlampe benutzt werden, wenn man den Schirm *F* wegnimmt und durch die Kappe *M*



Highley's mikroskopische Gaslampe.

ersetzt. Auch für chemische Zwecke ist sie verwendbar, indem in den Ring *N* ein Wasserbehälter *O* eingelassen wird.

Die Nachtheile, welche die Beleuchtung mikroskopischer Gegenstände durch künstliches Licht mit sich führt, scheinen mir bei diesem Apparate auf eine recht gute Weise beseitigt zu sein, ohne dass etwas von den Vorzügen dieser Beleuchtungsweise verloren geht. Es bedarf aber wohl keiner näheren Auseinandersetzung, dass diese ganze Einrichtung mit einer geringen Modification auch bei einer Oellampe sich anbringen lässt.

Zweites Kapitel.

Apparate und Hülfsmittel zum Tragen und Festhalten der Objecte.

110 Ein grosser Theil des *Armamentarium microscopicum* begreift die hierher gehörigen kleinen Instrumente. Sehr gross ist die Zahl der Instrumente, die seit dem Beginne der mikroskopischen Untersuchung erfunden, dann wieder verändert und oftmals verbessert worden sind; sie zeugen ebenso für die Fähigkeit der Erfinder, als für das immer neu auftretende Bedürfniss, passende Mittel ausfindig zu machen, um die Objecte in einen Zustand zu versetzen, wobei ihre mikroskopische Beobachtung erleichtert wird.

Die ältesten Beobachter benutzten nach Huygens (*Mem. de l'Acad. de Paris* 1678. XI, p. 608) vielfältig Glimmerblättchen: die Objecte wurden mit etwas Wachs oder Terpentin aufgeklebt, oder auch wohl zwischen zwei Glimmerblättchen gebracht. Schon am Ende des 17. Jahrhunderts waren die mit Oeffnungen versehenen hölzernen oder beinernen Schieber in Gebrauch, worin die Objecte zwischen Glimmerblättchen stacken, die mittelst eines kleinen Messingringes zusammengedrückt wurden. Bei Bonannus (*Micrographia curiosa*, p. 27) findet man sie ganz so abgebildet (Fig. 65, S. 108), wie sie bis vor einigen Jahren noch allgemein in Gebrauch waren; nur wurden die Glimmerblättchen späterhin meistens durch concave Glasplättchen ersetzt. Hartzoeker (*Essay de Dioptrique* 1694, p. 176) benutzte bei seinem früher beschriebenen einfachen Mikroskope einen kleinen Messingrahmen, wie er Fig. 169 (a. f. S.) dargestellt ist. Derselbe bestand aus zwei durch ein Charnier verbundenen Hälften, auf deren länglich vierseitige Oeffnungen Glimmerstreifen angeklebt waren.

Man ersann auch bald andere kleine Instrumente, die zum Festhalten der Objecte bestimmt waren. Schon bei Cuno's Mikroskope (Fig. 7, S. 40), und noch mehr bei jenem von Johannes Musschenbroek (Fig. 9, S. 42) kommen sie in Menge vor, nämlich Schieberzängelchen

zum Fassen der Objecte, spitzig zulaufende Nadeln, kleine Gabeln und gabelartige Instrumente mit stumpfen Spitzen. Namentlich zeugen aber die in Fig. 9 bei *E*, *G*, *H* mit abgebildeten Instrumente für Musschenbroek's Erfindungsgabe. *H* ist zum Festhalten von Objectschiebern oder Glastafeln bestimmt; durch *G* soll ein Glasröhrchen *ef* festgehalten werden, dergleichen schon Leeuwenhoek zur Untersuchung von Flüssigkeiten benutzt hatte; *E* endlich ist ein kleines Büchschen oder Gläschen aus einem concaven und einem flachen Glase, um lebende Thierchen einzuschliessen, also die einfachste Form der Wasserinsectenbüchse (*animal life box*). Später finden wir die letztere, jedoch ohne Stiel, wiederum beim zusammengesetzten Mikroskope von Culpeper und Scarlet, und erst in neuerer Zeit sind daran mehrere Verbesserungen vorgenommen worden.

Nach Lister's Rath gab Tulley diesem Thierbüchschen die Form, welche Fig. 170 im Durchschnitte dargestellt ist. Die kleine Messing-

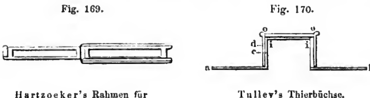


Fig. 169. Hartzoeker's Rahmen für Glimmerblättchen.

Fig. 170. Tulley's Thierbüchse.

platte *ab* hat ziemlich gleiche Grösse wie die gewöhnlichen gläsernen Objecttäfelchen; in der Mitte hat sie eine Oeffnung, und über dieser steht ein kurzes Röhrchen, welches durch eine runde flache Glasscheibe *ii* geschlossen wird. Auf dieses Röhrchen passt, gleich wie ein Deckel, ein zweites, das ebenfalls durch ein flaches Glasplättchen *oo* geschlossen ist.

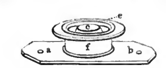
Fig. 171. Goring's Thierbüchse.

Daran brachte Goring (*Microscop. Illust.* Ed. 1, p. 57) eine kleine, aber nicht unerhebliche Verbesserung an, welche Fig. 171 dargestellt ist. Die beiden Glastäfelchen fügte er nämlich wasserdicht in ihre Höhlungen, und am äusseren Büchschen brachte er nahe dem Rande eine feine Oeffnung an. So kann das Thierbüchschen auch für Wasserthiere benutzt werden, und die kleine Oeffnung dient zum Herauslassen der Luft. Für in der Luft lebende Thiere fügte er noch ein zweites Deckelchen *B* hinzu, welches wie das erstere gestaltet ist, aber mehrfache kleine Oeffnungen besitzt.

Varley (*Transact. of the Soc. of Arts.* XLVIII) hat 1831 mit diesen kleinen Instrumenten noch eine Veränderung vorgenommen, wodurch sie zur Untersuchung von Thieren, die im Wasser leben, weit geeigneter ge-

worden sind, so dass ihm hierin jetzt alle englischen Mikroskopverfertiger nachfolgen. Diese Varley'sche Thierbüchse ist Fig. 172 dargestellt. Auf der flachen Messingplatte *a b* erhebt sich ein kurzes Rohr, worauf das Objecttäfelchen *c* liegt, aber nicht unmittelbar auf dessen äusserm Rande, sondern auf einem nach innen vorspringenden Ringe *d*. Somit bleibt oben eine ringförmige Rinne *i* übrig. Das Deckelchen *f* mit der dünnen Glastafel *e* schiebt sich über das innerste Rohr, wie bei den früheren Thier-

Fig. 172.



Varley's Thierbüchse in der Seitenansicht.

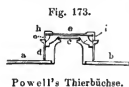


Durchschnitt derselben.

büchsen. Der Unterschied von diesen besteht nur darin, dass die kleine Glasscheibe *c*, die als Objecttafel dient, mit der kleinen Röhre nicht in Berührung kommt. Ein darauf gebrachter Wassertropfen verbleibt deshalb nur durch Capillarität zwischen den beiden Glastäfelchen, und das Deckelchen lässt sich ganz herumdrehen, ohne dass die Flüssigkeit abfliesst.

Späterhin hat Powell daran noch eine Verbesserung angebracht, die in Fig. 173 im Durchschnitte dargestellt ist. Das Deckplättchen kann hier gewechselt werden. Das als Deckel dienende Röhrchen besteht nämlich aus zwei Stücken. Der unterste Theil *d* hat oben einen Rand mit dem Schraubengange *o*; darauf kommt das runde Deckplättchen *e*, welches durch Aufschrauben des Ringes *h* befestigt wird. Auch hier bezeichnet *c* das Objecttäfelchen und *i* die ringförmige Rinne.

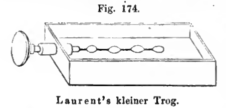
Fig. 173.



Powell's Thierbüchse.

Hierher gehört auch der kleine Apparat von Laurent, der in Fig. 174 dargestellt ist. Er soll ausdrücklich dazu dienen, die Entwickelung der Molluskeneier zu beobachten; mit ein Paar Veränderungen ist er aber auch für andere ähnliche Zwecke zu verwenden. Es ist nämlich ein kleiner vierseitiger Messingtrog mit einem Glasboden. Die eine Wand hat eine Oeffnung für einen kleinen Messingcylinder, der vorn durchbohrt ist, um einen doppelten Messingdraht aufzunehmen. Der Draht ist so gewunden, dass in Zwischenräumen

Fig. 174.



Laurent's kleiner Trog.

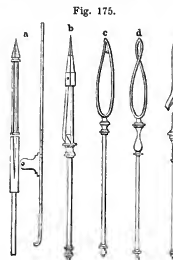
Digitized by Google

Oeffnungen zur Aufnahme der Eier entstehen, deren Entwickelungsstadien sich verfolgen lassen, wenn man den Messingdraht in dem mit Wasser gefüllten kleinen Troge dreht.

111 Die Schieherzängelchen von Cuno und von Musschenbroek wurden schon vorhin genannt. Im Jahre 1702 fügte Wilson einem seiner einfachen Mikroskope (Fig. 13, S. 50) ein Zängelchen hei, das his auf unsere Zeit in Gebrauch gehlieben ist. Es besteht aus zwei federnden Blättern *k*, die durch einen Druck auf zwei mit Knöpfchen versehene Stifte von einander weichen, so dass nun ein zu fassendes Object dazwischen kommen kann.

Johlot hat hierzu ebenfalls verschiedene kleine Zangen erfunden, die in Fig. 175 dargestellt sind. Ihre Anwendung ergieht sich von selbst. Sie sind aber nicht in allgemeineren Gebrauch gekommen. Sie sowohl wie die kleine Wilson'sche Zange befanden sich an dem einen Ende einer Stahlstange, die in einer Messinghülse sich verschob. Wilson brachte an das andere Ende dieser Stange noch eine Elfenbeinscheibe, die auf der einen Seite weiss, auf der andern schwarz war, um verschiedenfarbige Objecte darauf zu legen.

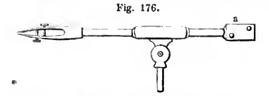
Fig. 175.



Kleine Zangen von Joblot.

Dergleichen Zängelchen kommen noch bei vielen unserer gegenwärtigen Mikroskope vor. Bei anderen ist das Scheibchen weggelassen, oder es wird wohl auch, wie in Fig. 176, durch ein vierseitiges messingenes Kästchen *a* ersetzt, welches mit Kork angefüllt ist, um mittelst einer Nadel

Fig. 176.



Kleine federnde Zange bei einem englischen Mikroskope.

Korkscheibchen oder Pappscheibchen mit den darauf hefestigten Objecten daran anheften zu können.

Recht gut geformt ist die kleine in Fig. 177 abgebildete Zange, welche Oberhäuser nach Strauss-Durckheim (*Traité pratique* I,

Fig. 177.

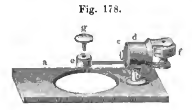


Microphore à bascule von Strauss-Durckheim.

p. 136) verfertigt hat und die als *Microphore à bascule* bezeichnet wurde. Durch einen Druck auf das hintere Ende *a* des oberen Zangenblattes öffnet sich die Zange, wenn vorher die Schraube *b* abgenommen wurde.

Ferner gehört hierher der von Richard Beck (*Quart. Journ.* 1862. N. Ser. VII, p. 102) construirte drehbare Objecthalter, zur Beobachtung undurchsichtiger Objecte, der in Fig. 178 abgebildet ist. Man kann damit fünf Seiten eines kleinen würfelförmigen Objectes zur Ansicht bringen, ohne dass das Object selbst eine Stellveränderung erfährt, und wird deshalb namentlich auch die Untersuchung von Krystallen damit vorgenommen werden können. Eine messingene Platte *a* mit einer kreisförmigen Oeffnung trägt einen um seine Axe drehbaren und senkrecht gestellten Arm *b*. Darauf sitzt der kleine Cylinder *d*, durch dessen geränderten Knopf der Arm *c* sich herumdrehen lässt. Dieser Arm *c* hat an dem einen Ende die Hülse *e*, die durch ein mit dem Knopfe *f* in Verbindung gesetztes Kettchen gedreht werden kann. Auf die kleine gestielte Scheibe *g* wird das Object mittelst Gummi befestigt, und dessen Stiel kommt dann in die Hülse *e*.

Fig. 178.



Drehbarer Objecthalter von Richard Beck.

Endlich hat H. L. Smith (*Amer. Journ. of Sc. and Arts.* 1866, p. 331) ein kleines Instrument beschrieben, das Wales and Comp. (Fort Lee, New-Jersey) nach seiner Anweisung angefertigt hat, und das zunächst dazu dienen soll, kleine Objecte, namentlich Diatomeen, zu fassen und auf ein Glastäfelchen zu bringen. Er nennt dasselbe einen mechanischen Finger. Es ist eine horizontale Röhre, die mittelst eines Ringes mit Klemmschraube unten am Mikroskoprohre befestigt wird. In dieser Röhre befindet sich ein kleines verticales Röhrchen, das durch eine Mikrometerschraube hin und her geschoben werden kann, und in dessen Axe verläuft ein cylindrisches Stäbchen, welches durch einen am oberen Ende befindlichen flachen Knopf sich nach unten drücken lässt, bei Nach-

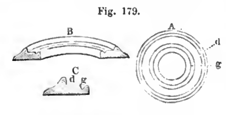
Digitized by Google

lass des Druckes aber durch eine Spiralfeder wiederum zurück schnellt. Dieses Stäbchen lässt sich durch einen kleinen Knopf in seiner Hülse herumdrehen. An seinem unteren Ende ist dann ein kleiner Hebelarm angebracht, woran eine kleine Klemmpincette sitzt, und diese fasst ein Streifchen Papier, woran ein feines Haar von $^1/_{10}$ Zoll Länge mittelst Gummi anklebt. Soll dieser kleine Apparat wirken, so muss zunächst das cylindrische Stäbchen gedreht und durch die Mikrometerschraube so bewegt werden, dass die Spitze des Haares über den kleinen Gegenstand kommt, den man fassen will. Jetzt drückt man das Stäbchen mit dem Haare gerade nach unten, dass der kleine Gegenstand daran hängen bleibt. Hierauf schiebt man ein Glastäfelchen darunter, das vorher durch Anhauchen befeuchtet wurde, und drückt nochmals auf das Stäbchen, so dass das Haar das Täfelchen erreicht und den kleinen Gegenstand darauf absetzt.

Viele Objecte müssen während der Untersuchung durch ein Deckplättchen gegen Druck geschützt werden, oder sie müssen in eine Höhlung kommen, wenn sie in der einen oder der andern Flüssigkeit aufgehoben werden sollen. Ehedem benutzte man dazu runde oder länglich vierseitige Glastäfelchen, worin eine oder auch mehrere muldenförmige Höhlen geschliffen waren. Mit Recht nimmt man jetzt lieber kleine Tröge, die ein flaches Glastäfelchen zum Boden haben. Wie ich dergleichen aus Kautschuk, aus Guttapercha oder aus Glasstreifen verfertige, ist früher (II, S. 70) umständlich besprochen worden. Ich habe hier nur noch einiger Methoden zu gedenken, die von Anderen empfohlen worden sind. 112

Namentlich hat man sich in der letzten Zeit in England viel Mühe gegeben, solche kleine Tröge (in England nennt man sie Zellen) auf eine zweckmässige Weise herzurichten, und man bekommt sie in den verschiedensten Formen bei den Mikroskopverfertigern. Man hat mehrfache Bereitungsweisen: 1. In ein flaches Glastäfelchen wird eine Oeffnung gebohrt; das beste Verfahren, um ganz seichte Tröge zu bekommen, weil man dazu selbst das dünne Glas für Deckplättchen anwenden kann. 2. Von runden, vierseitigen oder elliptischen Glasröhren werden Ringe abgeschnitten. 3. Derartige Ringe werden gegossen. Wenn die Aufbewahrung mikroskopischer Präparate eine immer mehr verbreitete wird, so steht zu erwarten, dass solche gegossene Ringe bald überall um weniges Geld zu haben sein werden. Eine von Darker angegebene Form der Ringe, wie in Fig. 179, ist in vielen Fällen ganz pas-

Fig. 179.



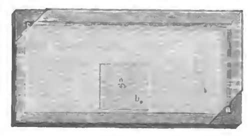
Ges Kollaterring von Darker.

send. Bei A sieht man den Glasring von oben, bei B sieht man ihn im Durchschnitte, und C zeigt den Durchschnitt des Randes allein. Der gerade Abschnitt *d* am Rande ist znm Auflegen des Deckplättchens bestimmt, und die Rinne *g* verhindert, dass der überflüssige Kitt nach dem Präparate hin geht.

Um solche Ringe auf Glastäfelchen zu befestigen, benutzt man jetzt in England zumeist den von Jeffery erfundenen und zu verschiedenen technischen Zwecken im Grossen bereiteten sogenannten Seeleim (*marine glue*), eine Mischnng von Schellack, Kautschuk und Kohlentheer. Er kommt in mehreren Sorten im Handel vor; zum mikroskopischen Gebrauche eignet sich aber nach Quekett jene am besten, welche das Zeichen G K 4 hat. Um Glasringe damit zu befestigen, wird der Seeleim in dünnen Streifen auf das Glas gelegt und bis zum Sieden darauf erwärmt. Nach Quekett kann man dazu ein kleines Tischchen von Eisenblech nehmen, welches auf 4 Füsschen steht nnd worunter eine Alkohollampe kommt. (Uebrigens hat sich später Goadby (*Americ. Journ.* 1852, p. 15) für den Erfinder des Tischchens ausgegeben.) Auf den geschmolzenen Seeleim legt man nun den Ring und drückt ihn mit einem flachen Holzstückchen an. Nachdem die Glastafel mit dem Ringe weggenommen und etwas abgekühlt ist, kratzt man den überflüssigen Seeleim mit einem kleinen Meissel ab. Soll der kleine Trog ganz vollkommen ausfallen, so giesst man eine schwache Kalisolution oder etwas Weingeist hinein, kratzt die letzten Reste des Seeleims mit einem keilförmig zugeschnittenen Holzstückchen ab und spült dieselben zuletzt mit Wasser weg.

113 Es ist bereits früher (II, S. 98) von der sogenannten feuchten Kammer die Rede gewesen, die dazu dient, Gegenstände eine Zeit lang mit Wasser befeuchtet zu erhalten. Unlängst hat nun H. L. Smith (*American Journ. of Sc. and Arts.* 1865, Sept. p. 241) eine kleine derartige Einrichtung erfunden, die als eine recht brauchbare Zugabe zum mikroskopischen Apparate gelten darf. Dieselbe ist in Fig. 180 dargestellt, jedoch mit einer kleinen Modification. Zwischen zwei Platten von Spiegelglas ist ein Rahmen eingeschoben und das Ganze stellt ein sehr niedriges Kästchen dar. Die obere Glasplatte ist höchstens 1 Millim. dick, und eine Ecke derselben ist schief abgeschnitten, so dass eine Oeffnung *a* ent-

Fig. 180.



H. L. Smith's feuchte Kammer, etwas modificirt.

steht. In diese obere Platte ist dann noch mit einer Feile unter Terpentinöl das kleine runde Loch *b* gebohrt. Mit Hülfe einer Pipette oder eines Spritzfläschchens wird das Kästchen von der dreieckigen Oeffnung *a* aus mit Wasser gefüllt, nnd dieses steigt durch Capillarität in dem Loche *b* in die Höhe. Liegt nnn auf der oberen Glasplatte, die als Objecttisch dient, bei *o* ein kleines Object und darüber das vierseitige Deckplättchen, dann ersetzt sich das an den Rändern des letzteren verdunstende Wasser immer wieder durch neues Wasser, welches aus der Tiefe durch das Loch *b* heraufsteigt, nnd man kann das Object auf diese Weise 1 bis 3 Tage hindurch im fenchten Zustande erhalten.

Den Rahmen zwischen den beiden Glasplatten kann man auf die früher (I, S. 69 bis 72) beschriebene Weise sicb znbereiten. Ich habe eine 2 Millim. dicke Platte von Gnttapercha dazn genommen, und den kleinen Apparat in der Beziehung modificirt, dass icb anch bei *c* ein dreieckiges Stück der oberen Glasplatte abschnitt, wodurch das seichte Kästchen hier eine ähnliche Oeffnnng wie bei *a* bekommt. Dadurch erleichtert man die Füllung des horizontalen Kästchens mit Wasser; denn während bei *a* Wasser einströmt, kann die Luft bei *c* ausströmen. Anch kann man das verdunstende Wasser durch anderes ersetzen, ohne dass an der ganzen Einrichtung etwas geändert wird. Steckt man aber in die beiden Oeffnungen *a* und *c* durchfeuchtete Baumwollfäden, nnd taucbt einen dieser Fäden in einen höher stehenden, mit Wasser gefüllten Behälter, während der andere in einen tiefer angebrachten Behälter hineinhängt, so kommt es zu einer continuirlichen Strömnng in dem Kästcben, die so lange anhält, als der obere Behälter nocb Wasser führt.

Das Kästchen bei Smith ist 2 Zoll breit nnd 3 Zoll lang. Ich habe 3 Cent. Breite auf 6 Cent. Länge genommen. Es kommt hierbei auf den Durchmesser des Objecttisches an.

Selbstverständlich kann man anch, falls es nöthig erscheint, eine andere Flüssigkeit in das Kästchen geben.

Einer anderen Einrichtung von Richard Beck (*Quart. Journ.* April, 1866, p. 34) liegt das nämlicbe Princip zu Grunde. Zwei Glasringe sitzen auf einem cirkelförmigen Stücke Glas mit einer centralen Oeffnung, und dadurcb bekommt man eine ringförmige Höhle für das Wasser. Der doppelte Glasring ist an eine Messingplatte mit aufrechtem Rande befestigt, und darüber geht als Deckel eine Glastafel mit zwei kleinen Löchern, deren eines Luft dnrchlässt, während durch das andere das Wasser unter dem Deckplättchen aufsteigt. — Diese mehr kostspielige Einrichtung besitzt nur darin einen Vorzug, dass das Licht vom Spicgel nicht durch eine untere Glasplatte und eine Wasserschicht zu gehen braucht.

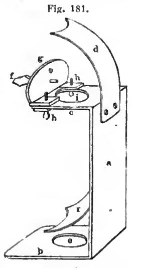
Zu Beobachtungen über das Wachsen der Hefenzellen und der Pilzsporen, welches oft Wochen lang zn verfolgen nothwendig wird, hat sich Dr. J. C. Lermer (*Polyt. Journ.* 1866, CLXXXI, H. 3, S. 223) einen

passenden Objectträger zusammengestellt, der auch wohl für andere Zwecke dienen kann. Eine Platte von reinem weissen Glase (78 Millimeter lang, 52 Millim. breit und drei Millim. dick) hat in der Mitte der Breitenachse, am vorderen Rande, eine Vertiefung oder ein Reservoir von 15 Millim. Durchmesser und $1^1/_2$ Millim. Tiefe eingeschliffen. In die Mitte des Objectträgers kommt das zu beobachtende Object, bedeckt mit einem dünnen Deckglase von 30 Millim. Durchmesser, so dass ein Theil des Deckglases etwa 5 Millim. über das Reservoir hinreicht. Das Reservoir wird überschüssig mit Wasser oder einer anderen Nährflüssigkeit gefüllt, nnd dann legt man zur Beschwerung ein grösseres Glas (50 Millim. lang, 38 Millim. breit und 2 Millim. dick) darüber, in dessen Mitte eine Oeffnung von 20 Millim. angebracht ist. Wenn mittelst eines auf verschiebbarem kleinen Stative stehenden Niveauf läschchens von circa 50 C.-Centim. Inhalt ein constantes Flüssigkeitsniveau in dem Reservoir unterhalten wird, so kann man mit dem so vorgerichteten Objectträger Gegenstände Wochen lang unter dem Mikroskope verfolgen.

114 Mehrfach sind Apparate erfunden worden, mittelst deren man den Blutumlauf bei Thieren beobachten kann.

Die erste hierzu bestimmte Vorrichtung findet sich bei Leeuwenhoek (*Sendbrieven*; *66ste Missive van* 12 *January* 1689) beschrieben; sie ist Fig. 181 dargestellt. Eine silberne oder messingene Platte *a* ist an beiden Enden rechtwinkelig umgebogen nnd die umgebogenen Theile *b* und *c* haben bei *e* und *i* runde Löcher; durch diese wird eine Glasröhre gesteckt und mittelst der Federn *r* und *d* festgehalten. In der Glasröhre befindet sich in Wasser ein kleines Fischchen, dessen Flossen oder dessen Schwanz so gestellt sind, dass man den Blutumlauf darin wahrnehmen kann. Die Linse, die wie bei allen Leeuwenhoek'schen Mikroskopen zwischen zwei Platten eingeschlossen war, kam dann vor die gläserne Röhre, indem sie an die aufrechtstehende Platte *g*, welche durch die beiden Schrauben *h h* am Theile *c* befestigt ist, mittelst *f* angeschraubt wurde. Leeuwenhoek hat dergleichen Apparate mehrfach verfertigt; im Kataloge seiner Mikroskope (S. 39) werden acht silberne und vier messingene aufgezählt.

Fig. 181.



Leeuwenhoek's Apparat zur Beobachtung des Kreislaufs.

Bei dem Mikroskope von Marshall (Fig. 67, S. 111) kam das Fischchen

auf den gläsernen Objecttisch *d* nnd der Körper, jedoch mit Ausschluss des Schwanzes, wurde mit einer nmgebogenen bleiernen Platte bedeckt, um das Thier am Wegspringen zu hindern nnd nm dessen Bewegungen zu mässigen.

Die Form dieser bleiernen Platte gab wahrscheinlich Veranlassung zu der messingenen Fischpfanne (Fig. 182), welche Culpeper und Scarlet etwas später ihrem Mikroskope beigaben, nnd die sich lange Zeit in Gebrauch erhalten bat. Es ist eine rinnenförmig gebogene längliche Messingplatte, an dem einen Ende etwas schmaler als am andern, mit einer Oeffnung bei *a*, durch welche der Schwanz des kleinen Thieres kommt. Der Körper des Fischchens und die Platte zusammen werden ein Paar Male mit einem breiten Bande umwickelt, um das Thierchen zur Ruhe zu nöthigen.


Fig. 182.



Fischpfanne von Culpeper und Scarlet.

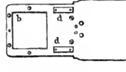
Um den Blutumlauf in der Schwimmhaut des Frosches zn beobachten, benutzte Alexander Stuart in London, wie Baker meldet, 1744 einen Rahmen, an dem das Thier mit Bändern und Nadeln befestigt wurde. Doch war die Einrichtung im Ganzen zur Beobachtung mit dem Sonnenmikroskope bestimmt.

Hendrik Hen gab für diesen Zweck zu seinen Mikroskopen einen länglich viereckigen Rahmen ans Messingblech, mit zwei breiten Querstreifen nnd mehreren kleinen Löchern am Rande, nm daran die Bänder und Fäden zu befestigen, wodurch das Thier ausgestreckt wnrde.

Diesem ganz ähnlich, nur aus Holz verfertigt, ist der Apparat zur Beobachtung der Circulation des Frosches, dessen sich R. Wagner bediente; derselbe wnrde von J. Vogel (*Anleitung zum Gebrauche des Mikroskops*. Leipzig 1841, S. 69) beschrieben.

Powell und Ross fügen ihren Mikroskopen eine Froschplatte bei, wie sie Fig. 183 dargestellt ist. Sie ist ans Messing, etwa 15 Centimeter lang und 6 Centimeter breit. An dem einen Ende befindet sich die Oeffnung *b*, welche durch eine Glasplatte geschlossen ist, nnd auf diese kommt der Fuss des Frosches. Um diese Oeffnung herum befinden sich vier oder noch mehr kleine Knöpfe, um welche die Fäden geschlungen werden, womit man die Zehen ausbreitet. Den ganzen Frosch, mit Ausnahme der einen Hinterpfote, steckt man in ein kleines leinenes Säckchen, das mit einem Bande zugehalten wird, und die Enden dieses Bandes führt man unter den etwas überragenden Streifen *dd* hindurch und knüpft sie zuletzt zusammen.

Fig. 183.

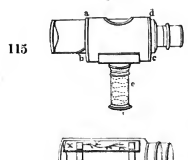


Froschplatte von Ross.

Digitized by Google

Doch sind schon früher (II, S. 106 ff.) die nöthigen Anweisungen gegeben worden, wie man durch Glas- und Korktafeln, einige Nadeln u. dgl. alle diese Apparate entbehrlich machen kann.

Fig. 184.

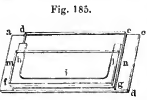


Varley's Flaschenhalter.

115 Für die Beobachtung der Saftbewegung in den Zellen der Chara- und Nitellaarten ist **Varley's Flaschen- oder Röhrenhalter** bestimmt, den man in Fig. 184 abgebildet sieht. Ein kurzes Rohr *abcd* von etwa drei Centimeter Dicke und fünf Centimeter Länge ist innen ganz mit schwarzem Tuche überzogen, zwei einander gegenüber liegende Oeffnungen ausgenommen. Unter der unteren Oeffnung befindet sich ein engeres Rohr *e* mit einer Spiralfeder, die unten festsitzt und oben gegen eine gebogene kleine Platte drückt. In das cylindrische, mit einer weiten Oeffnung versehene und mit Wasser gefüllte Fläschchen kommt dann ein jüngerer Theil der Pflanze, und mit Hülfe eines Glasstreifens *x* und der beiden Korkstückchen *rr* wird derselbe in die Nähe der Wandung gebracht. Ist nun das Fläschchen zugekorkt, so wird es in das Rohr *abcd* geschoben, worein es gerade passt, und durch die Spiralfeder festgehalten, doch so, dass man es noch bequem herumdrehen und verschieben kann.

Dieser kleine Apparat kann wirklich gute Dienste leisten, wenn man Untersuchungen über die Säftebewegung in den Zellen von Wasserpflanzen und über deren Entwickelung mehrere Tage lang fortsetzen will. Nur ist damit der Nachtheil verbunden, dass man durch eine gekrümmte Glasoberfläche und aus diesem Grunde weniger scharf sieht. Zudem ist er nur bei schwachen Vergrösserungen benutzbar, weil das Objectiv dem Objecte nicht ganz nahe gebracht werden kann.

Fig. 185.



Varley's senkrechter schmaler Trog.

Im Allgemeinen verdient daher die andere, ebenfalls von **Varley** herrührende Einrichtung, welche in Fig 185 dargestellt ist, den Vorzug; nur hat diese wieder den Nachtheil, dass sie blos bei horizontaler Stellung des Mikroskopes anwendbar ist. Auf eine ziemlich dicke Glasplatte *defg* werden durch ein Gemenge von Pech und Wachs die drei Glasstreifen *h*, *i* und *l* befestigt, und darauf kommt die aus dünnem Glase bestehende Deckplatte *mn*, welche kleiner ist als die Platte *defg*. Zum bequemeren Gebrauche kann man letztere noch mit Canadabalsam auf die längere

Glasplatte *abcd* aufkleben. So hat man einen engen Glastrog, wohinein man Wasser nebst den zu untersuchenden Objecten, wie Charen und andere Wasserpflanzen, Polypen, Larven von Wasserinsecten u. s. w. bringen kann *).

Fig. 186.

Smith und Beck haben an diesem Varley'schen Troge noch eine kleine aber zweckmässige Veränderung angebracht, die in Fig. 186 im Durchschnitte dargestellt ist. Sie bringen nämlich in der Richtung der Diagonale ein Glastäfelchen *ab* hinein. Das hat zur Folge, dass die Objecte, welche schwerer als Wasser sind, nach unten sinken zwischen dem diagonalen Täfelchen und dem Deckplättchen und so von selbst der Oberfläche des letztern sich nähern. Ausserdem ist dieses Glastäfelchen beweglich, so dass man die vorher eingebrachten Dinge damit nach vorn schieben und befestigen kann, indem man kleine Korkstückchen zwischen den Boden des kleinen Trogs und die innerste Glasplatte bringt.

Varley's Trog mit diagonalem Septum.

Bei keiner Abtheilung mikroskopischer Hülfswerkzeuge 116
hat sich die Erfindungsgabe der Beobachter sowohl als der Optiker mehr geltend gemacht, als bei jenen, welche dazu bestimmt sind, auf die Objecte einen gleichmässigen Druck auszuüben und diesen nach Willkür zu mässigen oder zu verstärken. Die Zahl dieser sogenannten Compressorien ist aber zu gross, als dass ich mich auf eine ausführliche Beschreibung aller einlassen könnte; auch werden dieselben in fast allen Fällen durch ein früher beschriebenes einfaches Verfahren (II, S. 102) entbehrlich.

Da ich aber in der historischen Uebersicht auch solcher Instrumente gedenken muss, deren Nutzen Manchen zweifelhaft erscheinen mag, so will ich wenigstens die verschiedenen Druckwerkzeuge anführen, die seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts und grösstentheils auch noch jetzt in Gebrauch sind, eine umständlichere Beschreibung und Abbildung auf jene beschränkend, welche aus dem einen oder dem andern Grunde solche Bevorzugung zu verdienen scheinen.

Die Bemerkung, dass manche thierische Theile, wie Fett, Gehirnsubstanz u. s. w. erst dann deutlich werden, wenn man sie zwischen zwei Glastäfelchen etwas comprimirt, findet sich schon bei Robert Hooke,

*) Um Wasser in einen so engen Raum zu bringen, nehme ich einen ganz dünnen und schmalen Glasstreifen, der aber so lang sein muss, dass er, auf dem Boden des zu erfüllenden Raumes stehend, noch zwei bis drei Centimeter herausragt. Giesst man vorsichtig auf dieses herausragende Ende die Flüssigkeit, so läuft sie an dem Glasstreifen zum Boden der Höhlung herab und verdrängt die allmälig nach oben entweichende Luft. So lassen sich ohne sonderliche Mühe Räume füllen, die nur drei oder zwei Millimeter, ja selbst noch weniger messen.

Digitized by Google

ist also fast so alt als das Mikroskop selbst. Späterhin pflegte man auch meistens in solchen Fällen einen leichten Druck auszuüben, entweder durch die Schwere des Deckplättchens oder mit der Hand.

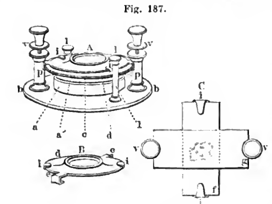
Der Erste, der auf eine mechanische Aushülfe Bedacht nahm, war Goeze (*Versuch einer Naturgeschichte der Eingeweidewürmer.* 1782), der zwei Compressorien beschrieb. Das erste ganz einfache bestand aus zwei Glasplättchen, von denen das eine am Boden einer Holzkapsel sich befand, in welche dann das andere mehr oder weniger tief gesenkt wurde. Das zweite Compressorium war zusammengesetzter und von Messing: die bewegliche Glasplatte wurde hier mittelst einer Schraube gegen die feststehende bewegt, und beide Platten wurden durch eine Feder auseinander gehalten.

Im Jahre 1831 beschrieb Ehrenberg (*Abh. d. Berl. Akad.* 1831, S. 46, u. *Die Infusionsthiere*, Vorrede S. XVII) ein Instrument für den nämlichen Zweck. Nach seiner Anweisung verfertigte Schiek ein Compressorium aus zwei geschliffenen Glasplatten, die dergestalt in zwei mit Schraubenwindungen versehene Ringe gefasst sind, dass sie durchs Umdrehen der Schraube einander immer mehr genähert werden. Die Umdrehung des oberen Glasplättchens wird dabei dadurch verhindert, dass sich am Rande zwei Einkerbungen finden, in welche zwei kleine Stifte passen, die am untersten Ringe festsitzen.

Viel zusammengesetzter, wenngleich auf dem nämlichen Principe beruhend, ist das Compressorium, welches Purkinje 1834 in Müller's *Archiv*, S. 385 beschrieb, und das er schon seit 8 Jahren benutzte. An demselben wurden weiterhin durch Purkinje selbst und durch Valentin (*Repertorium* Bd. III, S. 31) noch einige Verbesserungen angebracht. Jenes, welches 1841 von Savi (*Atti del Congresso scientifico di Firenze.* 1841, p. 341) beschrieben wurde, ist nur eine Modification dieses Compressoriums, und das Nämliche gilt von jenem, welches Pacini (*Nuovi Annali delle Sc. naturali di Bologna.* Nov. 1845) beschrieb. Indessen hat doch Pacini's Instrument vor dem ursprünglichen Purkinje'schen den Vorzug, dass es einen leichteren Wechsel der Glastäfelchen und auch während der Untersuchung selbst den Zutritt von Reagentien gestattet; deshalb gebe ich in Fig. 187 eine Abbildung desselben. Es besteht aus zwei über einander zu schraubenden Ringen. Der äussere Ring *a* ist auf eine mit einer grossen Oeffnung versehene Scheibe *bb* geschraubt, welche dem ganzen Instrumente zur Basis dient. Der innere Ring *a* ist mit einer zweiten, ebenfalls durchbohrten, aber kleineren Scheibe *c* verbunden, durch deren Umdrehung der innerste Ring mittelst der eingeschnittenen Schraube sich hebt und senkt. Auf der Scheibe *c* liegt noch eine Platte *d*, gleichfalls durchbohrt, die gar keine drehende Bewegung hat, sondern sich nur mit hebt und senkt, wenn die Schraube um den Ring geht. Zu dem Ende hat die Platte *d*, wie man bei B sieht, zwei Vor-

sprünge *e* und *e*, die an den beiden Säulen *p* sich auf- und niederbewegen. Zwei kleine hakenförmig umgebogene Streifen *ii*, die man bei A, B und C sieht, sind dazu bestimmt, eine der beiden Glastafeln, und zwar die untere, festzuhalten, nämlich *f* bei C.

Fig. 187.



Pacini's Compressorium.

Die obere Glastafel, nämlich *g* bei C, ist unbeweglich; sie wird durch die beiden Säulchen getragen, auf deren Oberfläche sie ruht, und ist durch die beiden Klemmschrauben *v* und *v* (bei A und C) daran befestigt. Dreht man den Rand des Ringes *c* in der einen oder der andern Richtung, so steigt oder sinkt die untere Glastafel und nähert sich langsam der oberen oder entfernt sich von derselben.

Die beiden Glastafeln haben die gewöhnliche länglich vierseitige Gestalt der Objecttafel, und da sie gekreuzt über einander liegen, so kann man leicht durch capillare Aufsaugung etwas Flüssigkeit zwischen sie bringen.

Ausser den beiden grösseren Säulen, die für die Scheibe *d* bestimmt sind, finden sich in gleicher Entfernung von diesen noch zwei kleinere Säulen *l* und *l*. Diese sollen nur als Stützpunkte dienen, wenn man mit einer Nadel oder sonst einem Instrumente etwas an dem Objecte ändern will. Sie können aber auch zur Befestigung eines lebenden Thieres benutzt werden, oder sie können als Träger der isolirten Polenden einer galvanischen Batterie dienen.

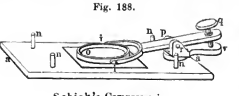
Man ersieht aus dieser Beschreibung, dass dieses Instrument nicht blos als Compressorium, sondern auch für manche andere Zwecke ganz gut benutzt werden kann, so dass es zu den nützlichen Hülfswerkzeugen bei mikroskopischen Untersuchungen gezählt werden darf.

Mehr oder weniger stimmt damit das Compressorium von Lister, welches Smith verfertigte (Quekett l. c. p. 121), und das zwar entschieden einfacher, aber auch weit weniger brauchbar ist. Beide Glastafeln sind hier beweglich. Sie werden durch zwei Spiralfedern an einander gedrückt, die um zwei Säulchen verlaufen. Diese Säulchen sind auch zugleich Conductoren einer Messingplatte, die gegen die obere Glastafel drückt, während die untere durch Umdrehen eines Ringes der um ein inneres Röhrchen geschraubt ist, nach oben gebracht werden kann.

Die bisher beschriebenen Druckwerkzeuge stimmen darin mit einander überein, dass die Bewegung, wodurch der Druck hervorgebracht wird, durch das Umdrehen eines mit einem Schraubengange versehenen Ringes erfolgt, dass also das Object immer in der Drehungsaxe liegt.

Anders steht es mit einer zweiten Klasse dieser Werkzeuge, bei denen der Druck in einiger Entfernung seitlich auf das Object wirkt, und nicht durch einen Ring, sondern durch eine dünne Mikrometerschraube hervorgebracht wird. Der wichtigste Vortheil dieser Einrichtung besteht darin, dass die Hand, welche die Schraube umdreht, in einer grösseren Entfernung vom Objecte und vom Objective bleibt.

Fig. 188.



Schiek's Compressorium.

Das erste Compressorium mit solcher seitlichen Schraubenbewegung wurde 1836 von Schiek verfertigt (Ehrenberg's *Infusionsthiere*, Vorrede S. XVII); dasselbe ist in Fig. 188 dargestellt. Eine länglich viereckige Messingplatte *aa* hat in der Mitte eine runde Glasscheibe, die etwas über die Oberfläche hervorragt. Eine zweite Scheibe *o* von dünnerem Glase ist in einen Ring gefasst, der zwischen zwei einander gerade gegenüber befindlichen Stiften *ii* in einem Bügel beweglich aufgehängt ist. Der Bügel ist mit einem Hebel *p* verbunden, der sich bei *r* um eine Axe dreht; am andern Ende dieses Hebels aber befindet sich die Schraube *q*, die etwas schief steht und in dem die Messingplatte überragenden Stücke *v* sich herumdreht. Mittelst dieser Schraube kann der Hebel zum Steigen oder zum Senken gebracht werden, so dass er dann am andern Ende einen stärkeren oder schwächeren Druck ausübt; die Art aber, wie dort der Ring mit dem darin enthaltenen Glastäfelchen aufgehängt ist, hat zur Folge, dass letzteres immer parallel bleibt mit dem unterliegenden Glastäfelchen. Man kann aber ein Object bequem auf das untere Glastäfelchen bringen, weil sich das Stück *v* nebst dem damit verbundenen Hebel zur Seite drehen lässt. — Dieses Compressorium kostet 6 Thaler.

Oberhäuser's Compressorium stimmt damit so ziemlich überein, nur ist die Schraube unten statt oben angebracht. Darin ist ihm aber eine wesentliche Verbesserung zu Theil geworden, dass das obere Glastäfelchen vermöge seiner Fassung leicht mit einem andern vertauscht werden kann, wenn es zerbricht oder beschädigt wird. — Auf dem Preiscourant stand es mit 20 Francs.

Dujardin (*Manuel etc.* p. 36) wie Amici (Mohl's *Mikrographie*, S. 129) sind Beide bemüht gewesen, das Schiek'sche Compressorium zu vereinfachen, indem sie den Ring mit dem obersten Deckplättchen wegliessen. Sie sind aber darin nicht glücklich gewesen, da der auf diese

Digitized by Google

Weise ausgeübte Druck unmöglich mit Gleichmässigkeit auf alle Punkte wirken kann.

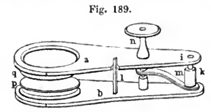
Einen besseren Gedanken hatte Quatrefages (*L'Institut* 1841, Nr. 386), der das Compressorium so einrichtete, dass es umgedreht werden kann, wenn man das Object auf der entgegengesetzten Seite beschauen will. Sein Instrument ist nur eine Verbesserung des Schiek'schen Compressoriums (Fig. 188), indem bei *nnnn* vier kurze senkrechte Säulchen angebracht sind, auf denen das Instrument ruht, wenn man es umgekehrt auf den Objecttisch legt. — Oberhäuser lieferte solche Compressorien um 30 Francs.

In den Hauptpunkten stimmt mit dem Schiek'schen Compressorium auch jenes von Yeates (*Microsc. Journ.* 1842. II, p. 44); nur hat es den Vorzug, dass Deckplättchen von der verschiedensten Dicke bequem darin gewechselt werden können. Zur Leitung der Bewegung dienen drei hohle Säulchen am oberen Ringe, in welche drei Stifte auf dem unteren Ringe passen.

Das Compressorium von Highley (*Quart. Journ.* 1862. N. Ser. VIII, p. 308) hat eine T-förmige Basis. Am mittleren Stücke befindet sich ein Hebel und eine Schraube, etwa wie am Schiek'schen Compressorium, und wie bei diesem endigt der Hebel in einen Bügel mit einem Ringe, worin ein dünnes Glasplättchen befestigt ist. Der Hauptunterschied liegt darin, dass das Querstück, worin die Oeffnung befindlich ist, eine bedeutendere Grösse hat, so dass gewöhnliche Objecttäfelchen von 3 Zoll Länge und 1 Zoll Breite darauf kommen können, die dann zugleich als Unterlage bei Ausübung des Druckes dienen.

Eine etwas andere Zusammensetzung hat das Compressorium von Wallach (Stilling u. Wallach, *Bau des Nervensystems.* 1843. S. 46), dessen Abbildung ich in Fig. 189 nach einem von E. Wenckebach verfertigten Instrumente gebe. Es besteht aus zwei gleichgeformten und gleichgrossen Messingplatten *a* und *b*, die an dem einen Ende etwa um die Hälfte verschmälert sind. Die breiteren Enden umschliessen die runden Glasplatten *p* und *q*, die beide über die Oberfläche des Messings etwas hervorragen. Die Bewegung wird durch die Feder *m* und die Schraube *n* bewirkt: jene hält die beiden Platten auseinander, diese hingegen nähert sie einander. Zur Sicherung der Bewegung dient die kleine Säule *k*, deren dünnere Partie in der Oeffnung *i* der oberen Platte sich bewegt. Auch der Stift *l* trägt dazu bei, der in eine schief einwärts gerichtete Einkerbung der oberen Platte passt. Wird

Fig. 189.



Wallach's Compressorium.

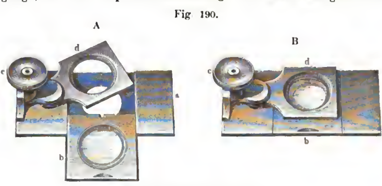
Digitized by Google

die Schraube hoch genug gedreht, dann kommt die Unterfläche der oberen Platte über die Spitze des Säulchens *k* und des Stiftes *l*, so dass sie dann zur Seite gedreht werden kann.

Ist dieses Compressorium gut gearbeitet, dann übt es einen sehr geregelten und gleichmässigen Druck aus; es würde aber noch brauchbarer werden, wenn sich die Deckplatte leicht vertauschen liesse.

Als eine Verbesserung des Wallach'schen Compressoriums kann das Compressorium von Ross (*Quart. Journ.* 1864. N. Ser. XIII, p. 41) gelten, welches in Fig. 190 dargestellt ist, und zwar bei A mehr auseinander gelegt, bei B in comprimirender Stellung. Die feste messingene Platte

Fig. 190.



Compressorium von Ross.

a von etwa 3 Zoll Länge hat eine mittlere Oeffnung. Darauf verschiebt sich schlittenartig der vierseitige Rahmen *b* mit einer eingefügten runden Glastafel. Dieser Rahmen lässt sich herausnehmen, wenn an dem Objecte etwas präparirt werden soll, und man kann ihn auch unter Wasser bringen. Die obere bewegliche Platte *d* hat eine horizontale und eine verticale Bewegung; letztere mittelst einer Spiralfeder und der Schraube *c*. In die Oeffnung von *d* kommt eine Glasscheibe, die leicht mit einer anderen, die dicker oder dünner ist, vertauscht werden kann.

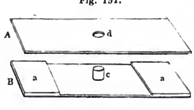
Ausserdem sind auch noch von Bischoff (Strauss-Durckheim, *Traité d'Anat. comp.* I, p. 87) sowie von Maissiat und Thuret eigene Compressorien erfunden worden. Das der Letzteren stand auf dem Preiscourante von Oberhäuser mit 35 Francs.

117 Ich habe hier noch zwei besondere mikroskopische Instrumente zu erwähnen. Zuerst den mikroskopischen Roller von Mandl (*L'Institut* 1838, Nro. 231), der dazu bestimmt ist, Objecte in das Gesichtsfeld zu rollen, damit sie nach einander ihre verschiedenen Oberflächen dem Auge darbieten, was zur Bestimmung der Form vieler kleiner Körperchen, wie Krystalle, Amylumkörner, Blutkörperchen u. s. w., allerdings nicht ohne

Bedeutung ist. Eine Vorrichtung zu solcher mechanischen Bewegung kann man jedoch recht gut entbehren, da es in den meisten Fällen ausreicht, wenn man das Deckplättchen mit dem Hefte eines Scalpells verschiebt. Ist dabei gleichzeitig eine Regelung des Drucks erforderlich, so ist jenes Verfahren, dessen ich schon früher (II, S. 102) gedacht habe, vollkommen ausreichend.

Zweitens ist das von Ludwig Fick (Müller's *Archiv* 1849, S. 151) beschriebene und in Fig. 191 dargestellte Instrument zu erwähnen, welches man als mikroskopischen Spanner bezeichnen kann. Es besteht aus zwei Messingtäfelchen A und B, von der Grösse gewöhnlicher Objecttäfelchen. B ist an den beiden Enden *a* und *a* etwas dicker als in der Mitte, wo sich eine runde Oeffnung mit einem senkrecht stehenden Ringe *c* befindet. Dieser Ring passt genau in die Oeffnung *d* der zweiten Platte, die eben ist, dabei aber gleichgross wie die erste.

Fig. 191.



Fick's mikroskopischer Spanner.

Will man nun ein Gewebe ausspannen, so bringt man es auf die Oeffnung des Ringes *c*, so dass ein Theil desselben über den Rand herabhängt. Bedeckt man es dann mit dem zweiten Täfelchen, so kann das Gewebe, je nachdem man stärker oder schwächer drückt, mehr oder weniger stark ausgespannt werden.

In der That muss dieser kleine Apparat als ein recht werthvolles Hülfsmittel zur Untersuchung vieler thierischer Gewebe angesehen werden. Das Gefüge mancher Häute, des Bindegewebes, der elastischen Bänder u. s. w., lässt sich damit besser als auf irgend eine andere Weise erkennen, wie ich aus eigener Erfahrung bestätigen kann. Es ist gut, wenn man mehrere solche Spanner zur Hand hat mit Ringen von verschiedenem Durchmesser, von 5 bis 10 Millimeter.

Schliesslich will ich noch der Mittel gedenken, wodurch man die gläsernen Objecttafeln oder Scheiben festklammert. 118

Zuerst gebrauchte Hartzoeker (Fig. 8, S. 41) beim einfachen Mikroskope zwei Täfelchen, die durch eine Spiralfeder gegen einander gedrückt wurden. Das nämliche Mittel benutzte auch Bonannus (Fig. 65, S. 108) bei seinem zusammengesetzten Mikroskope. Culpeper und Scarlet fügten ihrem Mikroskope auch einen derartigen Apparat bei, den man nach Willkür in die Oeffnung des Objecttisches einsetzen oder wieder wegnehmen konnte. Unstatthaft waren daran die drei Stifte für die mittlere bewegliche Platte, da es den kleinen Tafeln oder Scheiben dadurch erschwert wird, in der Mitte zu bleiben. Cuff verbesserte dies,

und seitdem wird dieser federnde Apparat von Martin, Adams und Anderen in der Fig. 73, S. 117, bei A dargestellten Form gefertigt, oder man ersetzt auch die beiden Seitenstücke durch vier Stifte, wodurch der Zweck natürlich eben so gut erreicht wird. So findet man diesen kleinen Apparat noch bei den älteren Mikroskopen Pritchard's.

Später hat man allgemein einem anderen Mittel den Vorzug gegeben, welches in einer roheren Form zuerst bei den Mikroskopen Brander's (S. 121) vorkommt. Dieser befestigte nämlich auf den Objecttisch eine hufeisenförmige Feder, wodurch die Objecttäfelchen eingeklemmt wurden. Dieses Beispiel ahmte Dellebarre (Fig. 75, S. 123) nach. Weiterhin ist die Sache dadurch verbessert worden, dass man die Feder an zwei Stifte befestigte, die in zwei Oeffnungen des Objecttisches passen und in zwei darunter befindliche enge Röhren greifen. Der Hufeisenform hat man auch wohl die Umbiegung im rechten Winkel substituirt. Diese Form findet sich bei Amici's Mikroskopen (Fig. 89, S. 169); sie kommt aber auch bereits an denen von Jones (Fig. 74, S. 120) vor, und ist seitdem bei den englischen Optikern allgemein im Gebrauche geblieben.

Noch einfacher und in gewisser Beziehung zweckmässiger ist die Einrichtung Chevalier's, die durch Fig. 192 erläutert wird. Zwei federnde Streifen Messingblech sind drehbar an einem runden Stifte *p* befestigt, der in eine Oeffnung des Objecttisches kommt. Man kann so Täfelchen von verschiedener Länge festklemmen und die Federn immer leicht zur Seite schieben oder wegnehmen, wenn man den Objecttisch ganz frei haben will. Solche Klemmer hat auch Brunner bei seinen Mikroskopen. Sie kamen ferner an den älteren Oberhäuser'schen Instrumenten vor, aber nicht mehr bei den neueren. Eben so finden sie sich an den älteren Nachet'schen Mikroskopen.

Fig. 192.

p

Chevalier's Klemmfeder.

Nachet hat aber späterhin die zweckmässige Veränderung damit vorgenommen, dass die beiden Messingstreifen in seichte Gruben an der oberen Fläche des Objecttisches passen, also nicht hinderlich sind, wenn der Klemmapparat nicht gebraucht wird. Drückt man auf zwei an der Unterseite befindliche Federn, so treten sie heraus und man kann das Objecttäfelchen damit festklemmen.

Weniger zweckmässig ist die Einrichtung an den neueren kleinen Mikroskopen Nachet's, wo die Objecttafel nur an eine senkrecht zum Objecttische stehende und blos vor- und rückwärts darauf verschiebbare Leiste stösst. Der einzige Zweck hierbei kann nur der sein, das Herabrutschen der Objecttafeln zu verhindern, sobald das Mikroskop in eine geneigte Stellung kommt. Dabei wird aber vorausgesetzt, dass die kleine Objecttafel genau rechtwinkelig liegt; im entgegengesetzten Falle muss

das Object aus dem Gesichtsfelde gerückt werden, sobald die genannte bewegliche Leiste an den Rand des Täfelchens stösst.

Smith und Beck haben hierzu eine etwas veränderte Einrichtung angenommen, deren oben (S. 216) gedacht worden ist.

Eine zweckmässige Beigabe zum Mikroskope ist der sogenannte magnetische Objecttisch. Die erste Idee zu einem solchen stammt von King in Bristol, der im Jahre 1851 der *Microscopical Society* ein damit versehenes Mikroskop vorzeigte. Ich kenne aber seine Einrichtung nicht. 119

Weiterhin gab Busk (*Quart. Journ.*, July 1854, Nr. VIII, p. 280) die Beschreibung und Abbildung einer solchen Einrichtung, die sehr einfach ist und an jedem Mikroskope angebracht werden kann. Zwei fast halbkreisförmige Magnetstäbchen befinden sich unmittelbar unter dem gewöhnlichen messingenen Objecttische und umgeben dessen Oeffnung. Ihre Polenden sind einander zugekehrt, so dass nur zwei bis drei Millimeter Zwischenraum bleibt; beide zusammen bilden daher einen beinahe geschlossenen Ring. Nahe jedem Polende ist ein senkrechter Eisenstift angebracht, der in eine kleine Oeffnung des Objecttisches passt und diese haarbreit überragt. Durch diese vier Stifte wird also die magnetische Kraft auf die Oberfläche des Objecttisches geleitet. Als Objectträger dient eine längliche Eisenplatte, die zu beiden Seiten den Objecttisch überragt und an den beiden Enden schmäler ist als in der Mitte. Dort befindet sich eine Oeffnung und zu beiden Seiten dieser eine Klammer, um nöthigenfalls das Glastäfelchen mit dem Objecte zu befestigen.

Eine Vereinfachung hat Newton Tomkins (*Quart. Journ.*, July 1857, Nr. XX, p. 237) damit vorgenommen: statt zweier Magnete befestigt er nur einen einzelnen hufeisenförmigen Magnet in den Objecttisch.

Eine wichtigere Aenderung hat Spencer (*Quart. Journ.* January 1855, Nr. X, p. 174) damit vorgenommen. Mit dem Objectträger verbindet er eine magnetisirte dünne Eisenplatte oder einen Eisenstab, und die Oeffnung des Objecttisches umgiebt er mit einem nichtmagnetisirten Eisenringe. Die Wirkung ist natürlich gleich, wie bei den beiden anderen Einrichtungen.

Ein solcher magnetischer Objecttisch bewährt sich in doppelter Beziehung nützlich. In Folge der stattfindenden Haftung wird die regelmässige und langsame Bewegung des Objectes durch die Hand erleichtert. Sodann kann die magnetische Anziehung die gewöhnlich benutzten Klemmfedern ersetzen, um das Object an seiner Stelle festzuhalten, namentlich bei geneigter Stellung des Mikroskoprohres. Um diesen letzteren Gewinn vollständig zu erlangen, sollte auch der Objectträger selbst keine Klammern haben. In der That werden diese ganz entbehrlich gemacht, wenn

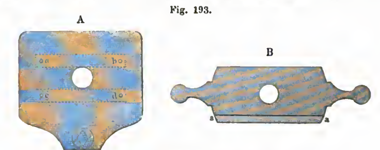
Digitized by Google

man den Objectträger anf der einen Seite mit einem zwei bis drei Millimeter hohen Rande nmgiebt, wogegen das Glastäfelchen stösst.

Indessen knüpft sich auch ein Uebelstand an einen solchen magnetischen Objecttisch, insofern nämlich alle eisernen Instrumente der Oxydation weit eher unterliegen als messingene, znmal solche Magnete und eiserne Objectträger nicht wohl gefirnisst werden können. Freilich sind anch die Kosten einer solchen Einrichtung und der etwa nöthigen Reinigung und Polirung der eisernen Oberflächen so gering, dass jener Uebelstand nicht als Grund einer gänzlichen Verwerfung gelten kann; nur wird man diejenige Einrichtung wählen müssen, wobei das Eisen dem Rosten am wenigsten ansgesetzt ist. Deshalb verdient es den Vorzug, wenn man, wie Busk es gethan hat, die Magnete nnter den messingenen Objecttisch bringt. Der Objectträger muss dann aus zwei dünnen auf einander befestigten Metallplatten bestehen, einer nnteren eisernen und einer oberen messingenen, und zwar die letztere mit einem niedrigen aufwärts gerichteten Rande, damit die eiserne Platte gegen das zur Befenchtung der Objecte benutzte Wasser geschützt bleibt.

Ich habe mir nach diesen Grundsätzen von H. Olland in Utrecht für ein kleines Nachet'sches Mikroskop einen magnetischen Objecttisch machen lassen, der Fig. 193 in halber Grösse dargestellt ist. Bei A sieht man die beiden auf der Unterfläche des Objecttisches befindlichen, durch

Fig. 193.



Magnetischer Objecttisch nach Harting.

pnnktirte Linien angedeuteten geraden Magnetstäbe, 50 Millimeter lang, 5 Millimeter breit und 4 Millimeter hoch. Sie stehen 22 Millimeter von einander ab. Mit den Polenden sind die vier knrzen Stahlcylinder *a*, *b*, *c* und *d* in Verbindung, die oben abgerundet sind und die Oberfläche des Objecttisches etwa nm $1/_3$ Millim. überragen. B ist der Objectträger, 120 Millim. lang nnd 35 Millim. breit, mit ein Paar Handhaben an beiden Enden. Er besteht aus einer unteren eisernen und einer oberen messingenen Platte, jede 1 Millim. dick; der vordere Rand der letzteren hat aber eine 2 Millim. hohe Leiste *a a*.

Stösst ein Objecttäfelchen an diese Leiste *a a*, so kann man dem Mi-

kroskope eine horizontale Stellung geben, ohne dass man zu besorgen braucht, es werde vom Objecttische fallen. Es ist sogar räthlich, keine zu kräftigen Magnetstäbe zu nehmen, weil sonst der Objectträger zu schwer beweglich wird. Die magnetische Kraft soll nur soviel wirken, dass der Objectträger gerade am Objecttische haftet und somit nicht umfällt.

Als ich Nachet diesen magnetischen Objecttisch beschrieb, gedachte er zwei Verbesserungen daran anzubringen. Die beiden Magnete sollten nicht durch Schrauben mit dem Objecttische verbunden, sondern an einem besondern kleinen Arme befestigt sein, der sich nach Willkür auch etwas nach unten bewegen lässt, so dass dann die Enden der vier kleinen Stahlcylinder unter die Oberfläche des Objecttisches kommen. Ferner wollte er die Eisenplatte des Objectträgers mit einer Kupfersalzsolution bestreichen, damit sie sich mit einer Kupferschicht bedeckte.

Digitized by Google

Drittes Kapitel.

Einrichtungen zur mechanischen Bewegung der Objecte im Gesichtsfelde.

120 Frühzeitig schon wurde es von Manchen nöthig erachtet, die weniger feste Bewegung der Hand durch mechanische Mittel zu ersetzen. Die Objecte können aber im Gesichtsfelde eine geradlinige oder eine drehende Bewegung erhalten, und beide Arten kommen bereits am Mikroskope Hertel's (Fig. 68, S. 112) vor.

Die geradlinige Bewegung erfolgte hier in Einer Richtung. Soll aber ein Object successiv alle seine Theile in die Axe des Mikroskopes bringen, so ist noch eine zweite geradlinige Bewegung erforderlich, rechtwinkelig auf der ersten. Das erste Mikroskop mit einer solchen diagonalen Bewegung mittelst zweier Schrauben ist das vom Duc de Chaulnes 1767 beschriebene (S. 121). Die Schrauben dienten zugleich als Mikrometer, weshalb ich im folgenden Kapitel noch einmal darauf zurückkommen muss, gleichwie auf den ähnlichen Apparat, welchen Benjamin Martin ein Paar Jahre später verfertigte und seinem zusammengesetzten Mikroskope beifügte.

Anch Tiedemann (Krünitz' *Encyclopädie* Bd. 90, S. 309) hatte für seine Mikroskope einen besonderen, durch zwei Schrauben beweglichen Objecttisch.

So war also die künstliche Bewegung des Objecttisches schon lange vor Fraunhofer bekannt, der sie nach irriger Angabe zuerst eingeführt haben soll. Die Fraunhofer'sche Einrichtung und ebenso jene am Amici'schen horizontalen Mikroskope stimmt aber ganz mit der früher gebräuchlichen überein. Sie haben einen vierseitigen Schlitten, der durch zwei um 90° von einander abstehende Schranben in den schwalbenschwanzförmigen Rinnen eines dazn bestimmten Rahmens sich bewegt.

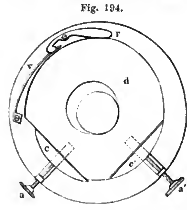
Diese Einrichtung hat sich weiterhin noch lange Zeit hindurch erhalten. Oberhäuser brachte aber dadurch eine Verbesserung zu Stande,

Digitized by Google

dass er den todten Gang der Schrauben, der zwar anfangs nicht vorhanden ist, aber allmälig durch den wiederholten Gebrauch entsteht, durch den Druck einer Feder beseitigte, die in Verbindung mit einem Hebel wirkt. Sein beweglicher Objecttisch, den er aber nur auf besonderes Verlangen zum Mikroskope gab, ist Fig. 194 abgebildet. Die beiden Schrauben *aa'* setzen die Platte *d* in Bewegung. Diese ist abgerundet auf der Seite, wo sie an die Feder *v* und den Hebel *r* stösst; die beiden gegenüberliegenden Seiten aber sind rechtwinkelig verbunden, dass sie in den Rinnen der Stücke *c* und *c* gleiten können.

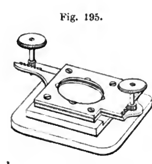
Diese Bewegung kann natürlich ebenso gut durch einen Trieb wie durch eine Schraube bewirkt werden. Bei dem in Fig. 195 dargestellten

Fig. 194.



Oberhäuser's beweglicher Objecttisch.

Fig. 195.

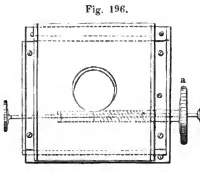


Schiek's beweglicher Objecttisch.

Schiek'schen Objecttische ist der Trieb dazu benutzt worden, dessen Wirkung aus der Abbildung sogleich vollständig erhellt.

Beiderlei Bewegungen lassen sich aber auch vereinigen, und in Tyrrell's beweglichem Objecttische (*Transact. of the Soc. of Arts*, XLIX.), welcher Fig. 196 dargestellt ist, wurde das auf eine recht vollkommene Weise erreicht. Die beiden Knöpfe *a* und *b*, durch deren Drehung der Objecttisch in allen Richtungen bewegt wird, liegen in der nämlichen Axe, so dass man beide fast zugleich mit der nämlichen Hand fassen kann. Die Bewegung geschieht in der einen Richtung durch eine Schraube, in der andern durch einen Trieb.

Fig. 196.



Tyrrell's beweglicher Objecttisch.

Endlich hat man auch den Hebel angewendet, um den Objecten eine der Willkür unterworfene langsame Bewegung zu ertheilen. Varley hat 1841 den Objecttisch seines Mikroskopes (Fig. 107, S. 220) durch dieses Mittel beweglich gemacht. Mit dem Stücke *b* ist der hintere Theil des Objecttisches bei *g* verbunden. Hier entspringt der Arm *r*, der in Verbindung mit den beiden kürzeren Armen *q q* dazu bestimmt ist, den Hebel *s* zu stützen, woran zwei Kugeln befestigt sind: die untere wirkt zwischen zwei Platten bei *p*, die obere zwischen zwei anderen Platten bei *t*. Die obere von den beiden letzten Platten ist mit der Platte *h* verbunden, auf welcher der Objecttisch *y* ruht. Der Hebel reicht so weit nach unten gegen den Tisch, worauf das Mikroskop steht, dass die auf den Tisch gestützte Hand ihn in jeder Richtung zu bewegen vermag. Dadurch wird aber eine geringere Bewegung des Objecttisches herbeigeführt, die bei Varley's Mikroskope nur $1/6$ der Bewegung des Hebels entspricht. Damit die beiden Seiten der Platte *h* sich gleichzeitig bewegen können, ist noch eine parallele Bewegung dabei; bei *w* sieht man die eine der dazugehörigen Stangen. Nach welcher Seite sich auch die Kugeln bewegen, die Platte *h* folgt ihren Bewegungen. Nach Varley soll man rasch sich bewegende Thierchen, wie etwa Infusorien, ganz leicht damit im Gesichtsfelde behalten.

Auf dem nämlichen Principe beruht auch der von Alfred White (*Transact. of the microscop. Society*, I. 1843) beschriebene bewegliche Objectivtisch, der beim Smith'schen Mikroskope (Fig. 105, S. 215) mit abgebildet ist. Derselbe besteht aus drei Platten, von denen die unterste feststeht, die beiden anderen aber schwalbenschwanzartige Leisten und Rinnen besitzen, so dass jede Platte für sich, oder auch beide zusammen durch den Hebel *o* bewegt werden können. Dieser hat 5 Zoll Länge und ist oben mit Metall beschwert, als Gegengewicht des schweren Objecttisches. Unten hat er eine Kugel, die in eine muldenförmige Aushöhlung der oberen Platte passt, und etwa einen Zoll darüber befindet sich eine zweite Kugel, die auf die Aushöhlung *p* eines kleinen am Stative *l* befindlichen Armes wirkt. Die schwalbenschwanzartigen Leisten der mittleren Platte verlaufen horizontal, jene der oberen Platte vertical. Wird nun der Hebel *o* nach dem Stative *l* zu bewegt, oder in entgegengesetzter Richtung, dann werden sich die beiden Platten in entgegengesetzter Richtung bewegen; bewegt man ihn dagegen in einer Linie, die mit dem Rande des Stativs parallel ist, dann theilt sich die Bewegung nur der obersten Platte mit.

Natürlich muss sich hier ebenso wie bei Varley's Einrichtung die Hand in gleicher Richtung mit dem Objecte bewegen, weil das zusammengesetzte Mikroskop das Bild umkehrt, und durch die Wirkung des Hebels die Bewegungen sich ebenfalls umkehren.

Man muss zugeben, dass diese Hebelapparate recht gut ausgedacht

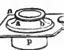
Digitized by Google

sind, und ohne Zweifel haben sie vor jenen Apparaten, wo die Bewegung durch Schrauben oder Räder ausgeführt wird, den Vorzug der Leichtigkeit, so dass die mannigfaltigsten Bewegungen erzielt werden können. Dagegen stehen sie diesen in der Verlangsamung der Bewegung nach, und somit auch in der Genauigkeit, womit ein Object an eine bestimmte Stelle des Gesichtsfeldes gebracht wird. Die Schnelligkeit der Bewegung des Objectes verhält sich zu jener der Hand, welche den Hebel in Bewegung setzt, bei Varley wie 1 : 6, bei Alf. White wie 1 : 4. Vielleicht liesse sich der Apparat so einrichten, dass ein günstigeres Verhältniss herauskäme; niemals indessen wird derselbe mit der Schraubenbewegung wetteifern können, wodurch sich die Bewegung fast bis zum Unmerklichen verlangsamen lässt. Eine Schraube z. B. mit zehn Windungen auf der Strecke eines Centimeters, deren Knopf zwei Centimeter Durchmesser hat, wird bei einer vollständigen Umdrehung, wobei also die drehenden Finger etwa 63 Millimeter durchlaufen, nur eine Bahn von einem Millimeter zurücklegen.

In den wenigen Fällen, wo eine mechanische Bewegung der Objecte wirklich erforderlich ist, beim Gebrauche des Ocularschraubenmikrometers, und wenn man die Spitze eines Krystallwinkels in den Kreuzungspunkt der Fäden eines Goniometers bringen will, verdient somit die Schraube immer den Vorzug, und für die einfache Beobachtung, wobei man successiv die verschiedenen Theile des Objectes ins Gesichtsfeld bringen muss, sind gewiss die geübten Finger bei weitem die besten Hebel.

Der zweite Bewegungsmodus des Objecttisches ist die Drehung um **121**
seine Axe. Wir sahen, dass Hertel bereits 1716 den Objecttisch seines Mikroskopes mittelst eines Räderwerks drehbar machte; aber erst viele Jahre später, nämlich 1777, folgte ihm Benjamin Martin hierin nach. Dieser fügte nämlich seinem Mikroskope (Fig. 73, S. 117) noch eine besondere vierseitige Platte bei, die in Fig. 197 dargestellt ist. Dieselbe passt durch das kurze Rohr p in den Objecttisch und enthält eine gezahnte Scheibe, welche durch ein kleines zur Seite stehendes Rad, dessen Knopf bei k sichtbar ist, herumgedreht werden kann. Die gezahnte Scheibe hat bei ab eine runde Oeffnung, in welche eine kegelförmig zulaufende Röhre passt, die nach Art eines Thierbüchschens ein concaves Glas am Boden hat, und durch den einzuschraubenden Ring n, der eine platte Glasscheibe enthält, geschlossen wird. Die Objecte können somit zwischen beide Gläser gelegt werden und ebenso auf die Oberfläche des oberen.

Fig. 197.



Martin's drehbarer Objecttisch.

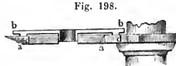
Der drehbare Objecttisch scheint indessen damals nicht viel Beifall gefunden zu haben; wenigstens fehlt er den späteren Mikroskopen, bis

Strauss-Durckheim (*Traité pratique* I, p. 74 sein einfaches Mikroskop damit versah. Daran hielten sich wieder Trécourt und Oberhäuser. die aber eine wesentliche Veränderung daran anbrachten. Der drehbare Objecttisch (*Platine à tourbillon*) an ihren grösseren Mikroskopen dient nämlich nicht blos zum Umdrehen des Objectes, sondern zum Umdrehen des ganzen Mikroskopes, mit Ausnahme des Spiegels. Demnach geht auch der Hauptzweck nicht auf die eigentliche Bewegung, sondern die Beleuchtung soll verändert werden, indem die Strahlen das Object während der Umdrehung auf verschiedene Weise treffen. Einen solchen drehbaren Objecttisch haben jetzt die grösseren Mikroskope von Nachet, A. Chevalier, Hartnack, Bénèche und anderen Optikern.

An den Mikroskopen von Brunner und Pacini dagegen dreht sich blos der Objecttisch, der hier als Goniometer dienen soll. Die englischen Optiker (Ross, Powell, Smith) versehen ihre Mikroskope ebenfalls mit einem solchen drehbaren Objecttische. Bis vor Kurzem pflegten sie diesen über die Platte zu bringen, welche zur diagonalen Bewegung des Objects bestimmt ist, und das hatte zur Folge, dass beim Umdrehen das Object meistens bald aus dem Gesichtsfelde rückte, wenn die Axe der drehenden Platte nicht genau mit der Axe des Mikroskopes zusammenfiel. Diesem Uebelstande hat aber Legg (Quekett l. l. p. 451) auf einfache Weise abgeholfen: die drehbare Platte brachte er unmittelbar unter die Grundplatte des Objecttisches und unter die diagonal bewegliche Platte, so dass die Drehungsaxe mit der Mikroskopaxe immer zusammenfällt.

Bei Mikroskopen, denen der diagonal bewegliche, immer etwas theure Objecttisch fehlt, ist dieser in den meisten Fällen durch die Objectdrehscheibe zu ersetzen, welche Welcker (*Aufbewahrung mikroskopischer Objecte* u. s. w., S. 27) angegeben hat. Sie ist Fig. 198 im Durchschnitte und in halber Grösse dargestellt. Eine runde Messingplatte *bb* hat in der Mitte eine Oeffnung, umgeben von einem nach unten hervorragenden kurzen Fortsatze, der in die Oeffnung des Objecttisches *aa* passt und sich darin herum dreht. Die Platte ruht nicht mit der ganzen Fläche auf dem Objecttische, denn das würde eine zu starke Reibung veranlassen, sondern nur mittelst der ringförmigen Erhabenheit *dd*, die sich in geringer Entfernung vom Rande der Platte befindet. Dieser Rand ist übrigens eingekerbt, damit die Scheibe mit den Fingern bequem herumgedreht werden kann.

Fig. 198.



Objectdrehscheibe von Welcker.

Viertes Kapitel.

Apparate zum Messen und Zeichnen der Objecte.

Ohne Zweifel musste man schon frühzeitig auf Mittel bedacht sein, 122
die wahre Grösse der Objecte kennen zu lernen, die man durchs Mikroskop beobachtet. Der Erste, der eine desfallsige Methode angab, war Robert Hooke; er theilt in der Vorrede zu seiner 1665 erschienenen *Micrographia* mit, dass man die Grösse des Bildes messen kann, wenn man mit dem einen Auge durchs Mikroskop nach dem Objecte sieht und mit dem andern auf einen getheilten Maassstab. Kennt man nämlich die Vergrösserung des Mikroskopes, so lässt sich die Grösse des Objectes hieraus leicht berechnen.

Hooke's Methode ist demnach nichts anderes als ein Doppelsehen, das aber, wie ich bemerken will, durch Keppler (*Dioptrice*, p. 45) bereits 1611 ebenso empfohlen worden war, um die vergrössernde Kraft eines Fernrohres zu bestimmen. Dass diese Methode unter besonderen Bedingungen zuverlässige Resultate zu liefern vermag, ist bereits früher (II, S. 246) dargethan worden; nur vermochte sie dies nicht bei Hooke zu leisten, weil diesem die Mittel fehlten, sich eine genaue Kenntniss der Vergrösserung seines Mikroskopes zu verschaffen.

Noch unvollkommener war Leeuwenhoek's Verfahren, der als 123
Maasseinheit Objecte benutzte, die unter einander in der Grösse sehr differiren, und dann nach Schätzung berechnete, wie viel Mal ein durchs Mikroskop gesehenes Object in jener Maasseinheit enthalten war. Sehr gern benutzte er als Maasseinheit ein grobes Sandkorn. In einem 1680 an R. Hooke gerichteten Briefe (*Ondervindingen en Beschouwingen.* Delft 1694, p. 56) erklärt er ausführlich, wie er die Grösse der Objecte danach berechnete, und erläutert es durch eine Abbildung und durch Beispiele; er giebt aber nicht an, den wievielsten Theil eines gebräuchlichen

Maasses das von ihm benutzte Sandkörnchen ausmachte. In einem späteren Briefe von 1684 (*Ontledingen en Ontdekkingen.* Leyden 1698. p. 37) giebt er an, er habe ein Sandkorn benutzt, das ziemlich $1/_{30}$ Zoll Durchmesser hatte. Nirgends tritt es aber hervor, dass Leeuwenhoek darunter immer eine Normalgrösse verstanden hat, vielmehr erkennt man aus dem Ganzen, dass er durch den Vergleich mit einem Sandkorne nur eine etwas anschauliche Vorstellung von der Kleinheit der durchs Mikroskop beobachteten Objecte geben wollte. Auch gelangte er späterhin zur Einsicht, wie unsicher seine Maasseinheit war, und deshalb wählte er statt der Sandkörnchen lieber Hirse oder Senfkörner (*Sendbrieven.* Delft 1718, p. 404). Doch pflegte er auch noch andere Gegenstände für diesen Zweck zu benutzen, namentlich Kopfhaare und Blutkörperchen, wie aus mehreren Stellen seiner Briefe ersehen werden kann.

Zu verwundern ist es, dass Leeuwenhoek ungeachtet dieser ganz unvollkommenen Messmethode dennoch manche recht genaue Grössenbestimmungen hat; man darf es sich wohl daraus erklären, dass sein Auge durch jahrelange Uebung eine Sicherheit in den Maassbestimmungen erlangt hatte, die einem minder geübten Beobachter ganz entgeht. So schätzt er z. B. das Blutkörperchen im Mittel zu $1/_{100}$ des Sandkorns, d. h. also, das Sandkorn zu $1/_{30}$ Zoll angenommen, zu $1/_{3000}$ Zoll, was mit dem durch unsere jetzigen Hülfsmittel festgestellten Mittelwerthe sehr nahe übereinkommt.

124 Noch während der letzten Lebensjahre Leeuwenhoek's gab James Jurin (*Dissertations upon physico-mathematical Subjects.* 1732, p. 45) ein zweckmässiges Verfahren an, um den Durchmesser der durchs Mikroskop beobachteten Körperchen auf genauere Weise nach gewöhnlichem Maasse auszudrücken. Es wurde nämlich ganz feiner Silberdraht so dicht aufgewunden, dass gar kein Zwischenraum blieb, wovon er sich mittelst eines Vergrösserungsglases überzeugte. Hierauf maass er eine gewisse Anzahl dieser Windungen mit dem Cirkel, dividirte in das gefundene Maass mit der Anzahl der Windungen und fand so die Dicke des verwendeten Silberdrahts. Kleine Stückchen dieses Silberdrahts brachte er dann zugleich mit dem zu messenden Objecte in das Gesichtsfeld des Mikroskopes. So fand er, dass sein Draht $1/_{485}$ Zoll dick war und vier Blutkörperchen auf die Breite desselben gingen, dass somit die Grösse des einzelnen Blutkörperchens $1/_{1940}$ Zoll betrüge. Allerdings eine stärkere Abweichung von der mittleren Grösse, als Leeuwenhoek durch seine Messung fand.

125 Indessen kannte man schon damals bessere Hülfsmittel. Bei den Fernrohren waren seit der Mitte des 17. Jahrhunderts verschiedene Arten Mikrometer in Gebrauch, deren Erfindung von 1640 datirt und

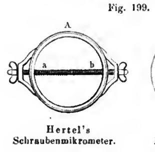
von dem Engländer Gascoigne ausging, der während des Bürgerkrieges in seinem Vaterlande in der Schlacht bei Marston-Moore fiel. Dieser befestigte zwei Fäden im Focus des Oculares, von denen der eine fest war, während der andere mittelst einer Schraube hin und her geschoben wurde. Das ist jedoch erst lange nach seinem Tode bekannt geworden (*Philos. Transact.* 1717, p. 603), als Derham in den Besitz von Gascoigne's Handschrift gekommen war.

Im Jahre 1710, also noch bei Lebzeiten Leeuwenhoek's sowohl als Jurin's, erschien eine kleine, jetzt selten gewordene Abhandlung über Mikrometer von dem Erlanger Professor Theodor Balthasar (*Micrometria, hoc est de micrometrorum tubis opticis seu Telescopiis et Microscopiis applicandorum varia structura et usu.* Erlang. 1710). Er handelt ausführlich über die verschiedenen damals gebräuchlichen astronomischen Mikrometer, empfiehlt sie auch zu mikroskopischen Messungen, und giebt dazu recht zweckmässige, auch jetzt noch brauchbare Vorschriften. So sagt er z. B. S. 120: *Quod si vero accuratior mensura objecti desideretur, utendum erit Micrometro aliquo cochleato, qualia plurima Cap. III. citato exhibuimus. Quando vero aliquod Micrometrum ita applicatum est, ut una cum objecto videndo et mensurando distinctae appareant pinnulae, distantia vitrorum est accurate annotanda et in plano objectivo lineola ducenda ea longitudine, ut tota uno obtectu per Microscopium appareat, v. g.* $^1/_{10}$, $^1/_{20}$ *aut* $^1/_{30}$ *etc. unius pollicis vulgaris. Diducendae postea, circumgyrando cochleam, eo usque sunt pinnulae, ut extremitatibus istius lineolae exacte congruant, quo impetrato videndum, quot particulis Micrometri pinnulae a se invicem distent, et lineolae longitudini respondeant; hic enim particularum numerus posthinc erit instar normae, juxta quam alia objecta mensuranda sunt.*

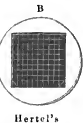
Als eigentliches Mikrometer empfiehlt er ein Schraubenmikrometer im Focus des Oculares, wovon er mehrere Arten beschreibt. Zum Zeichnen der durchs Mikroskop wahrgenommenen Objecte will er ein aus Pferdehaaren zusammengesetztes Netz benutzen, welches ebenfalls in den Focus des Oculars kommen soll.

Diesen Vorschlag brachte Hertel (*Anweisung* u. s. w. S. 160 und *Vollständiges Lehrgebäude*, S. 448) 1716 bei seinem Mikroskope in Anwendung, auf die in Fig. 199 dargestellte Weise. Unter das Ocular brachte er ein Netz aus Pferdehaaren, welches aus 100 Vierecken bestand (B). Ausserdem benutzte er auch

Fig. 199.



Hertel's Schraubenmikrometer.



Hertel's Mikrometernetz.

ein sehr einfaches Schraubenmikrometer (A), welches in der Hauptsache mit einem der von Balthasar beschriebenen astronomischen Mikrometer übereinstimmt. Ein Messingring hatte zu beiden Seiten zwei kleine Bügel; durch diese und zugleich auch durch die entgegengetzten Punkte des Ringes selbst gingen zwei Schrauben *a* und *b*, die in der Mitte des Ringes aufeinander stiessen, ziemlich in der Weise, wie in dem jetzigen *Oculaire à vis de rappel.* Dieser Ring kam in den Focus des Oculars. Die aus dem Ringe hervorstehenden Schraubenenden hatten platte Handgriffe oder Knöpfe und beim Gebrauche wurden die Viertelsumgänge gezählt.

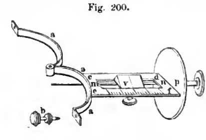
Die Grösse des einzelnen Umganges maass Hertel auf folgende Weise. Beide Schrauben wurden so weit von einander entfernt, dass ihre Enden am Rande des Gesichtsfeldes sich befanden. Nun wurde ihr scheinbarer Abstand oder die Grösse des Gesichtsfeldes durch einen zur Seite des Mikroskopes gehaltenen Cirkel gemessen, und ebenso wurde der wirkliche Abstand beider Schraubenenden durch directe Messung bestimmt. Dann zählte man die Anzahl Windungen für diese Strecke und berechnete aus diesen Daten den Werth der Viertelswindung, der bei Hertel's Instrumente $^1/_{1680}$ rhein. Zoll betrug.

Einige Jahre später kamen die Ocularmikrometer in allgemeineren Gebrauch, namentlich durch Benjamin Martin (*Description and Use of a Pocket reflecting Microscope with a micrometer*, 1739. *New System of Opticks*, 1740, p. 277). Er verfiel auch zuerst darauf, statt der Faden- und Haarnetze Striche zu benutzen, die mit dem Diamanten auf Glas gezogen wurden. Seine Glasmikrometer hatten 40 Striche auf einen Zoll. Martin's Schraubenmikrometer war, wie bei Hertel, ein Ocularmikrometer; doch hatte es eine etwas andere Einrichtung, und die damit vorgenommenen Messungen fielen genauer aus. Es gehörte nur Eine Schraube dazu, und 50 Windungen gingen auf Einen Zoll. Jener Theil der Schraube, der sich im Gesichtsfelde zwischen den beiden Augengläsern befand, endigte in eine feine Spitze; der andere, welcher aus dem Mikroskoprohre hervorragte, hatte einen Index, wodurch auf einem Zeigerblatte (Fig. 72) der zwanzigste Theil einer Umdrehung angegeben wurde. Jede Theilung auf dem Zeigerblatte gab also direct $^1/_{1000}$ Zoll an. Da aber nicht das Object, sondern das vergrösserte Bild gemessen wurde, so wurde durch diese Theilungen wirklich eine weit geringere Grösse angegeben, die im Voraus berechnet werden musste. Martin selbst giebt an, dass man den Durchmesser der Objecte mittelst dieses Schraubenmikrometers leicht bis auf $^1/_{10000}$ Zoll bestimmen könne.

Bald darauf fügte Adams (*Micrographia illustrata*, 1746) seinem Mikroskope ein solches Schraubenmikrometer bei, das er als Nadelmikrometer benannte. Es ist Fig. 200 dargestellt. In der Hauptsache stimmt es mit Martin's Instrumente; es waren aber zwei Verbesserun-

gen daran angebracht. Erstens sass es nicht fest am Mikroskoprohre, sondern wurde nur durch den Bügel *aaa* und die Schraube *b* daran befestigt, wenn es in Gebrauch gezogen werden sollte. Wichtiger war aber die zweite Verbesserung, die darin bestand, dass jeder vollständige Umgang der Schraube *mn* abgelesen werden konnte; denn dieselbe bewegte sich durch den länglich vierseitigen Rahmen *cdef* mit eingeschnittener Theilung, so dass jedes Interstitium einer ganzen Umdrehung der getheilten Scheibe *p* entsprach. Durch das Stück *v*, woran sich ein als Index dienender Streifen befand, wurde die Fortbewegung der Schraube gemessen. Man muss jedoch zugeben, dass diese Verbesserungen nicht so gross sind, um die Ehre der Erfindung dieses Mikrometers Adams allein zuzuschreiben, wie es später dessen Sohn (*Essays on the Microscope*, 1798, p. 54) gethan hat. Selbst die Zahl der Schraubenwindungen und die Eintheilung des Zeigerblattes war ganz so, wie am früheren Instrumente Martin's.

Fig. 200.



Nadelmikrometer von Adams.

Einige Jahre später gab Brander (*Beschreibung zweier zusammengesetzten Mikroskope*, 1769, S. 34) ebenfalls ein ganz damit übereinstimmendes Schraubenmikrometer zu seinem Mikroskope. Seine Glasmikrometer übertreffen aber die Martin'schen in der feinen Theilung: die darauf befindlichen Felder messen $^1/_{10}$ Quadratlinie, d. h. der Zoll ist in 100 Theile getheilt, die Theilung mithin $2^1/_2$ Mal feiner als auf dem Martin'schen Glasmikrometer. Die Untersuchung eines solchen Brander'schen Mikrometers lieferte mir folgende Werthe, aus denen ersichtlich ist, dass es Brander für seine Zeit schon ziemlich weit in der Kunst gebracht hatte, feine Theilungen auf Glas zu machen. Die durch den Diamanten gezogenen Striche nämlich sind 0,002 bis 0,003 Millimeter dick, und unter zehn gemessenen Feldern variirt der Durchmesser von 0,230 bis 0,209 Millimeter, d. h. also, sie differiren um etwa $^1/_{10}$.

Im nämlichen Jahre mit Brander's Schriftchen erschien auch die Beschreibung des Mikroskopes vom Duc de Chaulnes. Dieser brachte noch feinere Theilungen zu Stande, nämlich 240 auf einen Zoll, jedoch nicht auf Glas, sondern auf Messing.

Als die Glasmikrometer schon fast allgemein bekannt waren, fuhren gleichwohl noch Einzelne mit der Benutzung der Netzmikrometer fort, wahrscheinlich aus dem Grunde, weil Metallfäden oder Haare weit deutlicher wahrgenommen werden können, als die mit dem Diamanten auf

Digitized by Google

Glas gezogenen Linien. Bei Baker (*Employment for the Microscope*, 1753) ist ein Silberdrahtmikrometer beschrieben mit viereckigen Maschen von $^1/_{50}$ Zoll, dessen Silberdraht nur $^1/_{700}$ Zoll dick war. Er war von Folkes verfertigt. Baker selbst benutzte ein aus Kopfhaaren gemachtes Mikrometer. Hollmann (*Philos. Transact.* 1745, p. 246) benutzte zu gleichem Zwecke die Maschen eines Stückchens Seidenzeug, das ins Ocular eingesetzt wurde.

Statt auf Glas brachte man die Theilungen auch auf Elfenbein oder Horn; doch stand man bald wieder hiervon ab, weil diese Substanzen sich je nach dem Feuchtigkeitsgrade der Luft ausdehnen oder zusammenziehen.

Cavallo (*Philos. Transact.* 1791) empfahl dazu ein Perlmuttertäfelchen, so dünn, dass es durchsichtig ist, worauf sich mit grösserer Leichtigkeit als auf Glas sehr scharfe feine Linien ziehen lassen, und bald machte man Perlmuttermikrometer, an denen die Interstitien nur $^1/_{200}$ Zoll maassen (Adams, *Essays*, p. 60).

In Folge der Verbesserung der Theilmaschinen wurde es aber möglich, noch feinere Theilungen auszuführen, und bereits am Ende des 18. Jahrhunderts gelang es Coventry (*Encyclopaedia Britannica*, Ed. 6, p. 805), bei Glasmikrometern die Theilung bis zu $^1/_{10000}$ engl. Zoll oder etwa $^1/_{400}$ Millimeter zu treiben.

Später zeichneten sich in England Barton, Ramsden und Dollond durch die Verfertigung sehr feiner Glasmikrometer aus; in Deutschland aber machte sich Fraunhofer in München durch die höchst feinen Theilungen auf Glas berühmt, deren er zu seinen Untersuchungen über die Lichtbeugung bedurfte. Sein Instrument war so eingerichtet, dass 32,000 Striche auf einen Pariser Zoll damit gezogen werden konnten. Solche ungemein feine Theilungen scheint er jedoch nicht zur wirklichen Ausführung gebracht zu haben; in dem feinsten Netze, dessen er sich bei seinen Versuchen bediente, betrug der gegenseitige Abstand der Striche 0,0001223 Zoll, d. h. etwa $^1/_{300}$ Millimeter (Gilbert's *Annalen*, 1823, XIV, S. 347). — Uebrigens verfertigte auch damals Hoffmann in Leipzig Glasmikrometer, deren feinste Theilungen bis $^1/_{3000}$ Zoll gingen (Gilbert's *Annalen* XIV, S. 440).

Mit der Zeit ist man aber noch weiter gekommen. So fertigte Lebaillif in Paris Glasmikrometer, auf denen das Millimeter in 500 Theile getheilt war (Chevalier l. c. p. 83), worin ihm Chevalier, Oberhäuser und Andere weiterhin nachfolgten; ja der unlängst in Paris verstorbene Mechanicus Froment lieferte Glasmikrometer, auf denen das Millimeter in 1000 Theile getheilt war. Niemand hat es indessen hierin weiter gebracht, als Nobert, und schon zu wiederholten Malen ist von dessen Probetäfelchen die Rede gewesen, die ohne Zweifel zu den merkwürdigsten Erzeugnissen unserer jetzigen Mechanik zählen.

Digitized by Google

Nobert hat übrigens successiv Probetäfelchen geliefert, die durch die Anzahl der Liniengruppen nicht nur, sondern auch durch den Abstand der Linien in den gleichnamigen Gruppen von einander differiren. Die genaue Prüfung eines Täfelchens aus seiner ersten Zeit mit einem Ocular-Schraubenmikrometer, an dessen Zeigerblatte jede Theilung bei der benutzten Vergrösserung 0,000051 Millimeter entspricht, ergab mir Folgendes. Die zu zehn Gruppen vereinigten Linien habeu zusammen etwa 4 Linien Länge; die Gruppen selbst und die sie trennenden freien Zwischenräume sind einander ziemlich gleich. Misst man die Breite der Gruppen an dem einen nnd an dem andern Ende, so ergiebt sich eine kleine Differenz, die vielleicht davon herrührt, dass Nobert zur Herstellung dieser Probetäfelchen eine Kreistheilungsmaschine verwendet. So hat die erste Gruppe am breiteren Ende 0,0199 Millim. Durchmesser, am schmäleren 0,0196 Millim. Diese geringe Differenz von 0,0003 Millim. hat zwar so gut wie keinen Einflnss, da sie sich anf alle Strichelchen einer Gruppe vertheilt; man ersieht aber doch hieraus, dass es am sichersten ist, wenn man bei einer vergleichenden Prüfung von Mikroskopen immer einen bestimmten Theil in Anwendung zieht, etwa die Mitte der Gruppen*). Für die fünf ersten Gruppen fand ich in der Mitte:

---

*) Ueber diese geringe von mir gefundene Differenz äussert sich Hugo von Mohl (*Arch. f. mikroskop. Anat.* 1865. I, S. 93) dahin, dass sie an seinem Nobert'schen Täfelchen nicht existirt, oder wenigstens so unerheblich ist, dass sie noch im Bereiche der Beobachtungsfehler liegt. Auch meint er, dass ich mir eine unrichtige Vorstellung davon mache, wie Nobert seine Theilungen zu Stande bringt, indem er sagt: „Nobert verwendet die Kreistheilungsmaschine nicht, wie Harting anzunehmen scheint, auf die Weise, dass er die zu theilende Platte auf einem Radius des Theilungskreises befestigt, in welchem Falle allerdings die Striche des Mikrometers gegen das Centrum des Kreises convergiren und die Gruppen der Linien am einen Ende schmäler als am anderen Ende ausfallen würden, sondern er bewegt mittelst des Kreises einen Schieber, auf dem die Platte befestigt ist, und es müssen die Striche der Theilung parallel werden." Ich muss offen gestehen, dass mir die Sache durch diese Aufklärung noch keineswegs ganz deutlich geworden ist. Die Theilung am Rande der Kreistheilungsmaschine hat doch convergirende Striche, und Linien, welche damit parallel sind, müssen somit convergiren. Es wäre freilich zu wünschen, Nobert machte seine Theilungsmethode bekannt, zumal sonst zu besorgen steht, dieselbe könne einmal ganz verloren gehen. Mag nun aber auch die Theilung wie immer ausgeführt werden, durch Messung wird man doch ein Urtheil darüber gewinnen, ob die Linien der einzelnen Gruppe convergiren oder nicht. Meine früheren Messungen kann ich jetzt nicht wiederholen, da jenes Täfelchen mit zehn Gruppen nicht mehr in meinem Besitze ist. Dagegen habe ich an einem der neueren Probetäfelchen mit 30 Gruppen, bei einer 1100maligen Vergrösserung mit einem Hartnack'schen Immersionssysteme, die beiden Enden der dritten Gruppe gemessen, und eine so unerhebliche Differenz gefunden, dass man wohl an einen Parallelismus der Linien glauben darf, und dann hätte Mohl in der Hauptsache Recht.

Nr 1.	0,01975	Mm. Breite auf	10	Linien oder	9	Interstitien.
„ 2.	0,01941	„ „ „	11	„ „	10	„
„ 3.	0,01958	„ „ „	13	„ „	12	„
„ 4.	0,01846	„ „ „	14	„ „	13	„
„ 5.	0,01831	„ „ „	16	„ „	15	„

Bei den folgenden Gruppen vermochte ich die Striche nicht mehr mit der Zuverlässigkeit zu zählen, die hierbei erforderlich ist.

Berechnet man nun die Breite der Gruppen aus den von Nobert selbst angegebenen Abständen, so bekommt man:

			Differenz.
Nr. 1.	0,02030 Mm.	. . .	+ 0,00055 Mm.
„ 2.	0,01937 „	. . .	− 0,00004 „
„ 3.	0,01993 „	. . .	+ 0,00025 „
„ 4.	0,01851 „	. . .	+ 0,00005 „
„ 5.	0,01831 „	. . .	0 „

Es besteht somit eine kleine Differenz zwischen meinen Resultaten und Nobert's Angaben, die ich nicht zu erklären im Stande bin, da sie bald positiv, bald negativ ausfällt. Jedenfalls ist aber diese Differenz, abgesehen von der ersten Gruppe, wo sie $^1/_{2000}$ Millimeter beträgt, eine ganz unbedeutende.

In der folgenden Tabelle habe ich in den beiden ersten Columnen nach Nobert angegeben, welche Abstände die Linien in den Gruppen haben, wobei ich nur die Pariser Linie aufs Millimeter reducirte; die beiden anderen Gruppen enthalten die Zahlen, die ich aus meinen Messungen an den fünf ersten Gruppen ableite.

		Linien auf 1 Millim.		Linien auf 1 Millim.
Nr. 1.	0,002256 Mm. . . .	443 . . .	0,002193 Mm. . . .	456
„ 2.	0,001937 „ . . .	516 . . .	0,001941 „ . . .	515
„ 3.	0,001661 „ . . .	602 . . .	0,001632 „ . . .	613
„ 4.	0,001424 „ . . .	702 . . .	0,001420 „ . . .	704
„ 5.	0,001221 „ . . .	819 . . .	0,001221 „ . . .	819
„ 6.	0,001046 „ . . .	956		
„ 7.	0,000897 „ . . .	1115		
„ 8.	0,000768 „ . . .	1302		
„ 9.	0,000660 „ . . .	1515		
„ 10.	0,000509 „ . . .	1964		

Man ersieht aus dieser Tabelle, dass bei den ersten Gruppen die Abstände der Linien ganz regelmässig abnehmen; nur zwischen der neunten und zehnten Gruppe ist die Differenz auffallend grösser. Nobert scheint das selbst eingesehen zu haben, und hat Gelegenheit genommen, noch stärkere Beweise seiner Kunstfertigkeit in der Darstellung feiner

Digitized by Google

Theilungen auf Glas zu geben. Anfangs 1849 (Schuhmacher's *Astronomische Nachrichten*, 1849, Ergänzungsheft S. 39) verfertigte er Probetäfelchen mit 12 Liniengruppen, dann solche mit 15 Gruppen, und 1852 stieg er bis zu 20 Gruppen. Dabei lieferte er aber immer auch noch Täfelchen mit 10 und mit 15 Gruppen.

Warren de la Rue (*American Journ.* 1850 p. 27) hat zuerst eines von den neueren Probetäfelchen mit 15 Liniengruppen besprochen, und auf 1 Millimeter gezählt:

Nr. 1.	443	Linien.	Nr. 9.	1478	Linien.
„ 2.	514	„	„ 10.	1612	„
„ 3.	607	„	„ 11.	1692	„
„ 4.	715	„	„ 12.	1772	„
„ 5.	806	„	„ 13.	1875	„
„ 6.	924	„	„ 14.	1969	„
„ 7.	1108	„	„ 15.	2216	„
„ 8.	1267	„			

Bei einem Vergleiche mit der vorigen Tabelle sieht man, dass die gleichnamigen Gruppen auf den älteren und neueren Nobert'schen Probetäfelchen keineswegs gleich sind, was wohl im Auge zu behalten ist, wenn man mittelst derselben irgend ein Mikroskop prüfen will. Bei den neun ersten Gruppen zeigt sich nur ein mässiger Unterschied. Dagegen entspricht die zehnte Gruppe der älteren Täfelchen ungefähr der vierzehnten Gruppe auf den neueren, deren funfzehnte schon feiner getheilt ist*).

Nobert hat aber gezeigt, dass die Kunst damit noch nicht an der äussersten Grenze angekommen ist. Ausser diesen 15 Gruppen hat er auf dem nämlichen Täfelchen noch eine gesondert stehende Gruppe von

*) Bald nach Warren de la Rue berichtete auch Unger (Poggendorff's *Annal.* 1850. Bd. 79, S. 32) über ein solches Probetäfelchen; er hatte ganz andere Resultate erhalten, eben sowohl in der Linienmenge jeder Gruppe, als in Betreff ihrer wechselseitigen Abstände. Offenbar sind aber diese Angaben unrichtig, wie man schon aus der Berechnung der Abstände in der ersten Gruppe ersieht. Nach Unger hat jede Gruppe 0,0005 Par. Zoll (0,013535 Millimeter) Breite, und die erste Gruppe soll 7 Linien enthalten. Hieraus berechnet er einen Abstand der Linien von 0,0008 Linie oder $^1/_{553}$ Millimeter, vergisst aber dabei, dass die Zahl der Interstitien in jeder Gruppe jener der Linien immer um Eins nachsteht. Behält man das im Auge, so findet man als Abstand der Linien genau 0,001 Linie oder $^1/_{443}$ Millimeter, d. h. die nämliche Zahl, wie bei dem von Warren de la Rue beschriebenen Probetäfelchen. Auch in der Anzahl der Linien jeder Gruppe scheint sich Unger geirrt zu haben. Nach ihm soll die funfzehnte Gruppe 21 Linien enthalten, welche Zahl indessen nach Nobert selbst (Poggendorff's *Annal.* 1852, Bd. 85, S. 92) schon auf die zehnte Gruppe trifft. Das wurde auch neulich durch George Hunt (*Quart. Journ.* 1857, XX, p. 233) bestätigt, der mit der Camera lucida bei einer Vergrösserung von 1700 bis 2000 Mal die Linien ge-

Linien gezogen, deren Abstand nur $^1/_{4433}$ Millim. beträgt, also halb so viel als in der 15. Gruppe, und ausserdem noch ein Paar andere Gruppen, wo die kleinen Linien einander unter Winkeln von 90° und 120° kreuzen. Auf den Probetäfelchen mit 20 Gruppen beträgt der Linearabstand in der 20. Gruppe $^1/_{6000}$ Linie oder $^1/_{2664}$ Millimeter.

Ein Nobert'sches Probetäfelchen mit 10 Gruppen kostet 5 Thaler, ein solches mit 15 Gruppen 10 Thaler.

Späterhin hat Nobert aber sogar Probetäfelchen mit 30 Gruppen hergestellt, und diese kosten 30 Thaler. Ich erhielt 1858 ein solches Täfelchen von Nobert mit folgender Angabe der Abstände der Linien in den einzelnen Gruppen, denen ich noch die Anzahl der Linien beifüge, die auf Ein Millimeter kommen:

1. Gruppe	0,001000	Par. Lin.	=	443
5. „	0,000550	„ „	=	806
10. „	0,000275	„ „	=	1612
15. „	0,000200	„ „	=	2215
20. „	0,000167	„ „	=	2653
25. „	0,000143	„ „	=	3098
30. „	0,000125	„ „	=	3544

Diese Angaben wurden, so viel mir bekannt, nur von W. S. Sullivant und T. G. Wormley (*American Journ.* January 1861) durch wirkliche Zählungen geprüft. Sie benutzten ein Objectiv von Tolles mit $^1/_{30}$ engl. Zoll Brennweite und eine 6000malige Vergrösserung, die zum Theil dadurch erreicht wurde, dass sie eine achromatische Hohllinse zwischen das Objectiv und das Ocular brachten. Dabei benutzten sie Sonnenlicht, das durch eine achromatische Linse mit grosser Brennweite fiel. Bis zur 26. Gruppe waren die Linien mit Sicherheit zählbar; bei der 27. und 28., zumal aber bei der 29. Gruppe schwand diese Sicherheit, weil es immer schwerer und schwerer fiel, die Linien über die ganze Gruppe hin zu unterscheiden. Die Linien der 30. Gruppe wurden gar nicht mehr erkannt. In der umstehenden Tabelle sind die von ihnen gefundenen Resultate verzeichnet, und zwar der Vergleichung halber aufs Metermaass reducirt.

---

zählt hat, welche in den ersten dreizehn Gruppen auf $^1/_{1000}$ engl. Zoll kommen, und ebenso auch die Anzahl der Linien in jeder Gruppe. Seine Zahlen differiren wirklich so wenig von jenen bei Warren de la Rue, dass man beide Probetäfelchen in Betreff der Linearabstände in den gleichnamigen Gruppen fast als gleich ansehen kann. Nur in der elften Gruppe zeigt sich eine Verschiedenheit, die ich mir so erklären muss, dass Hunt beim Zählen zufällig diese Gruppe übersehen hat, was ja bei einer solchen schweren Untersuchung ganz leicht geschehen kann.

Digitized by Google

Gruppe.	Linien in der ganzen Gruppe.	Linien auf 1 Milim.	Gruppe.	Linien in der ganzen Gruppe.	Linien auf 1 Milim.
1.	7	437	16.	30	2264
2.	8	514	17.	31	2308
3.	9	605	18.	32	2446
4.	10	707	19.	33	2493
5.	12	796	20.	34	2631
6.	13	917	21.	36	2680
7.	15	1091	22.	37	2833
8.	17	1270	23.	38	2880
9.	20	1490	24.	40	2920
10.	22	1600	25.	41	3000
11.	24	1774	26.	42	3075
12.	25	1863	27.	43	3197
13.	26	1969	28.	44?	3264
14.	28	2071	29.	?	3400
15.	29	2200	30.	?	?

Vergleicht man diese Werthe mit den durch Nobert selbst verzeichneten Abständen und den daraus abgeleiteten Zahlen, so ergiebt sich, dass letztere insgesammt etwas grösser sind. Das mag vielleicht davon herkommen, dass die benutzte Maasseinheit nicht die nämliche war.

In der jüngsten Zeit lieferte Nobert Probetäfelchen mit 19 Gruppen, worin die vier letzten Nummern der 30gruppigen Täfelchen in der Feinheit der Theilung noch überholt werden. Die erste Gruppe ausgenommen, sind die übrigen anders getheilt als auf den früheren Täfelchen, wie aus folgender Tabelle zu ersehen ist:

Nr.	1 = $^1/_{1000}$	Par. Lin.,	443	auf	1	Millim.
„	2 = $^1/_{1500}$	„ „	665	„	1	„
„	3 = $^1/_{2000}$	„ „	886	„	1	„
„	4 = $^1/_{2500}$	„ „	1108	„	1	„
„	5 = $^1/_{3000}$	„ „	1329	„	1	„
„	6 = $^1/_{3500}$	„ „	1550	„	1	„
„	7 = $^1/_{4000}$	„ „	1772	„	1	„
„	8 = $^1/_{4500}$	„ „	1994	„	1	„
„	9 = $^1/_{5000}$	„ „	2215	„	1	„
„	10 = $^1/_{5500}$	„ „	2437	„	1	„
„	11 = $^1/_{6000}$	„ „	2658	„	1	„
„	12 = $^1/_{6500}$	„ „	2880	„	1	„
„	13 = $^1/_{7000}$	„ „	3101	„	1	„
„	14 = $^1/_{7500}$	„ „	3323	„	1	„
„	15 = $^1/_{8000}$	„ „	3544	„	1	„
„	16 = $^1/_{8500}$	„ „	3766	„	1	„
„	17 = $^1/_{9000}$	„ „	3987	„	1	„
„	18 = $^1/_{9500}$	„ „	4209	„	1	„
„	19 = $^1/_{10000}$	„ „	4430	„	1	„

Es harmoniren somit die 7., 9., 11., 13. und 15. Gruppe dieses 19gruppigen Täfelchens mit der 11., 15., 20., 25. und 30. Gruppe des 30gruppigen Täfelchens.

Wie schwer solche feine Theilungen herzustellen sind, vermag ich wohl nicht besser darzuthun, als durch das Zeugniss Fraunhofer's (Gilbert's *Annalen*, Bd. 15, S. 348), der erzählt, es sei ihm noch nicht gelungen, Linien auf Glas zu bringen, deren 32,000 auf den Pariser Zoll (also 1171 auf den Millimeter) gehen, und dann hinzufügt: „und es möchte auch für Menschenhände, welcher Maschine man sich auch bedienen mag, nicht wohl möglich sein." Nobert's Probetäfelchen kommen den Zeichnungen der allerschwierigsten Probeobjecte (I, S. 321) an Feinheit fast gleich, und er hat allen denen einen grossen Dienst geleistet, die das Unterscheidungsvermögen ihrer Mikroskope genau prüfen wollen. Gleichwohl muss ich das schon früher Gesagte wiederholen, dass man mit zwei solchen Probetäfelchen nicht immer vollkommen vergleichbare Resultate erhält, weil die Sichtbarkeit und Unterscheidbarkeit der feinen Linien von der Härte oder Sprödigkeit des Glases, von der Druckstärke der Diamantspitze und anderen Umständen abhängen, die wohl zum Theil, jedoch niemals vollständig in der Macht des Verfertigers liegen. Nur so kann ich es mir z. B. erklären, dass ich an einem der ersten Probetäfelchen keine Spur von Linien in der zehnten Gruppe zu erkennen vermochte, gleichwohl aber an einem Täfelchen mit 20 Gruppen aus späterer Zeit mit dem nämlichen Mikroskope ganz bequem die funfzehnte

Digitized by Google

Gruppe unterschied, und selbst noch bei der siebzehnten mit einiger Mühe die Linien erkannte, ungeachtet die Linien in diesen beiden einander weit mehr genähert sind.

Bis jetzt ist Nohert der Einzige, der solche feine Theilungen auf Glas liefert, und wenn es auch bekannt ist, dass er dazu eine Kreistheilungsmaschine benutzt, so scheint er doch einen Theil seiner Methode geheim zu halten. Es dürfte deshalb nicht unpassend sein, wenn ich an das früher berührte Schreibeinstrument von Peters (S. 9) erinnere, das sich jetzt in der Sammlung der *Microscopical Society of London* befindet, wohin es der Erfinder geschenkt hat. Mit einer derartigen Einrichtung werden sich wahrscheinlich gleich feine Theilungen auf Glas machen lassen.

Ich erwähnte bereits früher (II, S. 229), dass bei allen Mikrometern 126
zwischen dem wahren und dem scheinbaren Werthe der Abstände Unterschiede vorkommen, die oftmals gar nicht unbedeutend sind. Die Bestimmung der Glasmikrometer verlangt es ganz besonders, dass die Abtheilungen unter einander übereinstimmen sollten; man trifft aber selbst an jenen, die aus den Werkstätten der besten Optiker hervorgegangen sind, oftmals grosse Ungleichheiten, zum Beweise, dass die Theilungsinstrumente sehr unvollkommen waren, oder dass die Theilung nicht mit der nöthigen Sorgfalt und Genauigkeit ausgeführt wurde. Ueber den verhältnissmässigen Grad von Genauigkeit einiger Mikrometer, die zu verschiedenen Zeiten aus verschiedenen Werkstätten hervorgegangen sind, giebt folgende kleine Tabelle Aufschluss. Alle Theilungen sind auf Glas ausgeführt, nur die Barton'sche auf Messing:

Verfertiger.	Nomineller Werth der Theilungen.	Wirklicher Werth in Millimetern.	Maximum der Differenz.
Brander	1/10 engl. Linie	0,2109	0,0210mm = 1/10
Ramsden	1/500 „ Zoll	0,0469	0,0032 = 1/16
Barton	1/2000 „ „	0,0128	0,0012 = 1/10
Dollond	1/500 „ „	0,0498	0,0070 = 1/7
Chevalier	1/20 Millim.	0,0484	0,0019 = 1/25
Oberhäuser	1/20 „	00,480	0,0010 = 1/25

Man ersieht hieraus, dass seit Brander bedeutende Fortschritte gemacht worden sind. Die Fehler indessen, die bei allen diesen Mikrometern vorkommen, sind in Wirklichkeit noch viel zu gross, und bei denen

Digitized by Google

aus der neueren Zeit rühren sie wahrscheinlich grösstentheils davon her, dass bei der Bearbeitung nicht hinlängliche Sorgfalt angewandt wurde. Dass es möglich ist, einen höheren Grad von Genauigkeit zu erreichen, ersieht man nicht blos aus der feineren Theilnng auf den eben beschriebenen Nobert'schen Probetäfelchen, sondern anch darans, dass Mohl (*Mikrographie*, S. 293) bei drei Messungen (was freilich eigentlich zu wenig ist) eines in $^1/_{50}$ Linien getheilten Glasmikrometers von Merz in München nur $^1/_{5555}$ Millim. Differenz fand, was noch nicht $^1/_{500}$ der gemessenen Grösse ist.

Ich will noch erwähnen, dass Welcker (*Polytechn. Journ.* Bd. 130, S. 267) auch ein Glasmikrometer angegeben hat, welches zum Abzählen von Objecten im Gesichtsfelde hestimmt ist. Es ist ein Täfelchen von $1^1/_2$ Zoll Länge nnd 1 Zoll Breite mit 31 Querstrichen, die 0,23 Par. Linien von einander abstehen, und senkrecht von 241 anderen Strichen durchkreuzt werden. Das Mikrometer ist dadurch in längliche Vierecke getheilt, die den Vorzug vor vierseitigen Feldern verdienen. Ganz zweckmässig ist dabei die Idee, zur Erleichterung des Zählens die Theilungen durch Zeichen zu numeriren, die man leicht mit dem Diamanten anbringt. Es werden dazu Striche von zweierlei Länge und zweierlei Abständen benutzt, nämlich: | (1), || (2), ||| (3), |||| (4), || 5), ||||| (8), | (10), |||| (16), || (20), ||| (30) u. s. w.

Ferner hat Hodgson (*Quart. Journ.* 1856. XV, p. 240) einen Gedanken ausgesprochen, der vielleicht dahin führen kann, dass man wohlfeilere Mikrometer bekommt, als Mnsterersatz für die Glasmikrometer. Er hat auf doppeltem Wege Collodiummikrometer hergestellt. Erstens brachte er auf ein Glasmikrometer eine dünne Schicht Collodium, das sich nach Verdunstung des Aethers leicht abheben lässt, und so erhielt er gleichsam einen Ahguss der Mikrometertheilungen, den man wie ein gewöhnliches Object zwischen zwei Glastäfelchen bringen kann *). Zweitens benutzte er aber anch die Photographie, um sich in sehr verkleinertem Maassstabe die Abbildung einer Theilung zu verschaffen. Da photographische Abbildungen auf Collodium sich mit so grosser Schärfe her-

*) Ich muss übrigens bemerken, dass Gorham (*Quart. Journ.* 1853. II, p. 84) bereits drei Jahre früher das Collodium benutzt hat, nm dergleichen Abgüsse von verschiedenen mikroskopischen Gegenständen zu bekommen. Er benutzte dazu ein mit rothem Sandelbolz schwach gefärbtes Collodium; welches mit einem Pinsel vier- bis fünfmal aufgestrichen wurde. Beim Untersuchen der Mineralien, der Schalen, der Polypenstöcke, der Pflanzenepidermis, der Bedeckungen der Gliederthiere, der Hornhaut ihrer Augen u. s. w. kann dieses Hülfsmittel allerdings ganz gute Dienste leisten.

stellen lassen und eine recht ansehnliche Vergrösserung vertragen, so begreift man wohl, dass auf diesem Wege mikrometrische Theilungen zu erzielen sind, welche die durch ein Theilungsinstrument erhaltenen zu ersetzen vermögen und recht gut als Ocularmikrometer benutzt werden können.

Ebenso hat Thomas Woods (*Philos. Magaz.* 1861, p. 166) auf photographischem Wege sich ein Mikrometer verschafft. Er benutzte dazu einen Rahmen, worauf schwarz gefärbte hölzerne Leisten befestigt waren, mit dem hellen Himmel als Hintergrund. Die Linien treten so schärfer hervor, als wenn schwarze Linien auf einem weissen Grunde gezogen werden. Das Bild wurde auf ein mit Collodium überzogenes Glimmerblättchen gebracht. Das auf diesem Wege erhaltene Mikrometer hatte Linien, die $^1/_{1000}$ engl. Zoll von einander abstanden und ebenso $^1/_{1000}$ engl. Zoll dick waren.

Für Glasmikrometer im Oculare empfiehlt sich die Jackson'sche Einrichtung. Eine messingene Platte hat in der Mitte das Glasmikrometer, und dieses kann durch eine Schraube an dem einen Ende der Platte hin nnd her bewegt werden. Ist die Platte durch zwei gegenüber stehende Oeffnungen ins Ocular eingebracht, dann kann man mittelst der Schraube einen der Theilungsstriche mit dem Rande des Objectes in Berührung bringen.

Eine Verbesserung in der Theilung hat Hartnack dadurch herbeigeführt, dass er noch eine Transversallinie zieht, wie es die Fig. 201 zeigt. Offenbar muss damit die Messnng weit genauer ausfallen können, bis zum Fünftel oder Zehntel der ursprünglichen Einheit.

Fig. 201.

Bewegliches Ocularglasmikrometer nach Hartnack.

Ueber die Preise der Glasmikrometer habe ich noch Folgendes mitzutheilen. Bei Oberhäuser war das Millimeter in 100 und in 500 Theile getheilt, und das Stück kostete 20 Francs. Nachet liefert ein Ocular mit Glasmikrometer, worauf das Millimeter in 100 Theile getheilt ist, um 15 Francs. Bei Zeiss ist das Ocularmikrometer, woran 5 Millimeter in 50 Theile getheilt sind, um 3 Thaler zu haben, und das Objecttischmikrometer, woran das Millimeter in 25 bis 200 Theile getheilt ist, um 3 bis 5 Thaler. Bei Belthle kostet das Ocularglasmikrometer (zwanzigfache Theilung des Millimeters) 2 Thaler 15 Silbergroschen, das Objecttischglasmikrometer (50fache Theilung des halben Millimeters) 5 Thaler. Bei Bénèche bekommt man ein Ocularmikrometer (zehnmalige Theilung des Millimeters) um einen Thaler, ein Objecttischmikrometer, woran das Viertelmillimeter 100 Mal getheilt ist, um 5 Thaler.

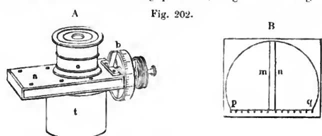
127 Die von Martin, Adams und Brander verfertigten Nadelmikrometer im Oculare wurden nach einiger Zeit durch andere Schraubenmikrometer verdrängt. Der Duc de Chaulnes stellte nämlich 1767 ein Mikroskop her, das ausdrücklich dazu bestimmt war, Messungen damit vorzunehmen. Sein Stativ war auf ein Tischchen befestigt, das auf vier Füssen ruhte. Die Messungen wurden mittelst zweierlei Schraubenmikrometer bewirkt. Neben dem astronomischen Ocularmikrometer mit zwei Fäden, von denen der eine fest ist, der andere aber durch eine Schraube bewegt wird, kam noch am Objecttische ein Mikrometer mit zwei Schrauben vor, wodurch das Object im Gesichtsfelde in zwei Richtungen bewegt werden konnte. Mittelst dieser Einrichtung vermochte der Duc de Chaulnes den Durchmesser der Objecte bis auf $^1/_{1500}$ Linie zu bestimmen, also fast doppelt so genau, wie mittelst der früheren Nadelmikrometer.

Diesen Versuch, das Object durch Schrauben zu bewegen, ahmte dann Martin nach; wahrscheinlich hat er dieses Schraubenmikrometer in der mir unbekannt gebliebenen Schrift beschrieben: *Microscopium pantometricum, or a new construction of a Micrometer adapted to the Microscope*, 1776. Zu seinen späteren zusammengesetzten Mikroskopen gehört ein besonderes mit zwei Schrauben versehenes Mikrometer; dasselbe besteht aus einem vierseitigen Messingrahmen, worin sich ein zweiter durch zwei Schrauben, die rechtwinkelig gegen einander stehen, hin- und herbewegen lässt. Dieses Schraubenmikrometer kann man am Objecttische befestigen und wieder wegnehmen, ganz so, wie gegenwärtig bei Plössl und bei Anderen. Bei der Untersuchung eines solchen Martin'schen Schraubenmikrometers habe ich gefunden, dass eine ganze Schraubenumdrehung 0,5019 Millim. gleich ist, und da das Zeigerblatt 20 Abtheilungen hat, so ist die einzelne Abtheilung = 0,0251 Millimeter oder 0,00099 engl. Zoll.

Auch das Ocular-Schraubenmikrometer mit beweglichem Faden kam mehr in Gebrauch. Ramsden führte es beim Mikroskope ein, als der Generalmajor Roy im Jahre 1783 (*Philos. Transact.* p. 641) sehr genaue Messungen auszuführen hatte, wobei es darauf ankam, genau zu bestimmen, wie die Stäbe, deren er sich bediente, durch die Wärme ausgedehnt wurden. Dazu erfand Ramsden ein Pyrometer mit der Einrichtung, dass die Ausdehnung der Stäbe durch zwei an den Enden angebrachte Mikroskope gemessen wurde. Als dann Roy einige Jahre später durch trigonometrische Messungen den Abstand der Meridiane von Greenwich und Paris bestimmte, lieferte ihm Ramsden ein Instrument zu Winkelmessungen, wozu auch zwei mit solchen Mikrometern versehene Mikroskope gehörten, um die nöthigen Ablesungen mit grosser Genauigkeit bewirken zu können (*Philos. Transact.* 1790, p. 111). Ferner benutzte auch Edward Troughton (*Philos. Transact.* 1809, p. 105) dergleichen Mikrometer für seine Theilungsmaschine.

Digitized by Google

Das Ramsden'sche Ocular-Schraubenmikrometer ist Fig. 203 dargestellt. Es besteht aus einer abgeplatteten, länglich vierseitigen Kapsel *a*



Ramsden's Ocular-Schraubenmikrometer.

mit zwei Spinnewebfäden *m* und *n* im Inneren: der eine dieser Fäden ist fest, der andere wird durch eine Schraube bewegt, die mit einem getheilten Zeigerblatte *b* versehen ist. Ueber jener vierseitigen Kapsel befindet sich die kurze Röhre *o* mit einem positiven Oculare, welches so gestellt werden kann, dass man die beiden Spinnewebfäden und zugleich auch jenes durchs Objectiv hervorgebrachte Bild deutlich sieht. Um die Anzahl der vollständigen Umdrehungen der Schraube zu kennen, geht, wie man bei *B* sieht, ein sägeförmig gezahnter Streifen *pq* durchs Gesichtsfeld: jedes Zähnchen entspricht einer vollständigen Schraubenwindung, und je fünf Zähne sind wieder durch eine tiefere Einkerbung angedeutet. Das untere Rohr *t* hat die Bestimmung, das Mikrometer in das Mikroskoprohr zu schieben.

Einer Modification des Ocular-Schraubenmikrometers, welche nach der Angabe Mohl's durch Steinheil ausgeführt wurde, habe ich schon früher (II, S. 240) gedacht, auch dabei die Vorzüge und Nachtheile der beiderlei Einrichtungen unter einander verglichen. Mohl (*Arch. f. mikrosk. Anat.* I, S. 91) giebt neuerdings die Beschreibung seines Steinheil'schen Instrumentes. Die Grundlage des Stativs bildet eine starke (1,5 Zoll dicke), nach oben zu schwach verjüngte Säule, welche am oberen Ende eine drei Linien dicke, horizontal abstehende, in der Mitte mit einer Oeffnung versehene Platte trägt. In diese Oeffnung ist von unten her die Mikroskopröhre eingeschraubt, also unbeweglich; über derselben ist ein Fraunhofer'scher Schraubenmikrometer angeschraubt, welcher jedoch in stärkeren Dimensionen ausgeführt ist. Die Schraube desselben hat Umgänge von der Grösse von etwa $^1/_4$ Linie, ihr hinteres Ende läuft, um die Abnutzung möglichst zu verhindern, in einem Lager von Achat, eben so ist in den Theil des durch die Schraube zu bewegenden Schiebers, auf welchen das vordere Ende der Schraube drückt, ein Achat eingelassen. Auf dem Mikrometer befindet sich das durch denselben zu bewegende Ocular (ein orthoskopisches von Kellner) in eine kurze Röhre eingesteckt.

Diese Ocularröhre ist jedoch nicht unmittelbar auf den durch die Mikrometerschraube beweglichen Schieber des Mikrometers befestigt, sondern auf einen zweiten Schieber, welcher sich auf der oberen Seite des ersten, parallel mit seiner Mittellinie, folglich auch parallel mit der Mikrometerschraube, zwischen schwalbenschwanzförmigen Leisten durch eine besondere mit steil aufsteigenden Windungen versebene Schraube verschieben lässt. Objecttisch und Lichtcondensationsapparat sind getrennt vom Mikroskope an einer Metallstange befestigt, welche mittelst zweier kurzen Arme an der Säule des Stativs, parallel mit deren Axe, festgeschraubt ist. Die grobe durch einen Trieb vermittelte Bewegung ist an der Stange, die feine am Objecttische angebracht.

Um genau die Stelle ausfindig zu machen, bis wohin der zweite Schieber mit dem Oculare kommen muss, wenn die Axe des Mikroskopes eingehalten werden soll, brachte Mohl drei Blendungen ins Mikroskop, deren Oeffnungen nur die Grösse eines Nadelstichs hatten. Dann wurde das Ocular so weit verschoben, bis die kleine sichtbare Lichtscheibe durch das Fadenkreuz im Oculare in vier gleich grosse Quadranten getheilt wurde.

Nun wurde quer über den Ocularschieber und eine der Leisten, in denen er sich verschiebt, eine Linie eingeschnitten, welche als Index für die Stellung dieses Schiebers dient. Will man einen anderen Theil der Mikrometerschraube zu einer Messung verwenden, so wird das Ocular in die Axe gestellt, ein beliebiges Object so unter das Mikroskop gelegt, dass eine bestimmte Stelle desselben mit dem Spinnenfaden zusammentrifft, und durch den Ocularschieber das Ocular soweit zurückgeführt, bis sein Faden wieder auf der gleichen Stelle des Objects einsteht. Man könnte auch, meint Mohl, in die Leiste des Ocularschiebers eine Scala einschneiden, welche die Umgänge der Mikrometerschraube anzeigt, und die erstere Scala in umgekehrter Weise numeriren, wobei alsdann, wenn beide Scalen auf die gleiche Nummer gestellt würden, das Ocular in die Mikroskopaxe zu stehen käme. Aber ungeachtet der grossen Dimensionen, die er der Säule des Stativs und der horizontalen Platte, woran das Mikrometer und das Mikroskoprohr befestigt sind, gegeben hatte, musste er doch wahrnehmen, dass der geringe Druck auf die Schraube schon ausreichte, das Mikrometer zu einem Hebel zu machen, wodurch dem Mikroskoprohre eine merkbare Bewegung ertheilt wurde. Deshalb verband er letzteres mit der Säule des Instrumentes noch durch einen Rahmen, der aus rechtwinkelig sich durchkreuzenden starken Messingplatten bestand. Dadurch wurde vollständige Festigkeit und Unbeweglichkeit erlangt.

Es ist klar genug, dass mit einem also eingerichteten Schraubenmikrometer ausnehmend feine Messungen ausführbar sind. An Mohl's Instrumente entsprach der volle Schraubenumgang bei 218maliger Vergrösserung $^1/_{70}$ Linie, bei 487maliger Vergrösserung $^1/_{153}$ Linie, und bei

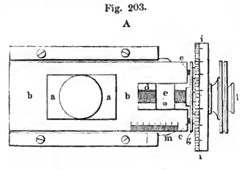
1100maliger Vergrösserung $^{1}/_{342}$ Linie. Da sich nun mit Hülfe des Nonins auch noch Tausendtheile des Schraubenganges ablesen lassen, so gehen die Angaben des Messapparates weit über die optischen Leistnngen des Mikroskopes hinaus.

Dass überhaupt die Ocular-Schraubenmikrometer, also auch das Ramsden'sche, die genauesten Instrumente sind, die wir besitzen, ist bereits früher (II, S. 237) nachgewiesen worden. Wie bei allen Ocularmikrometern haben aber die damit erhaltenen Werthe keine absolnte, sondern nur eine relative Bedeutung, die für jedes Objectiv und für jede Rohrlänge bestimmt werden muss. Daher kommt es auch, dass man anf dem Continente mehr und mehr dem Objecttisch-Schraubenmikrometer den Vorzug gegeben hat, namentlich nach Fraunhofer's Vorgange, der seine grösseren Mikroskope damit versah. Nur in England wird das Ocular-Schraubenmikrometer noch immer viel benutzt.

Ein solches Schraubenmikrometer ist Fig. 203 abgebildet. Es besteht ans zwei Platten, von denen die untere *aa* auf dem Objecttische befestigt wird, während die obere *bb* mittelst einer Schraube sich darauf verschieben kann. Die untere Platte hat eine runde Oeffnung, und zur Seite zeigt sie zwei schwalbenschwanzförmige Leisten, nm die Ränder der oberen beweglichen Platte aufzunehmen, die ihrerseits eine länglichviereckige Oeffnung besitzt. Die feine Schraube *d* läuft in einer Mntter *e*, die mit der unteren Platte verbunden ist: wird sie gedreht, so drückt ihr Ende gegen die bewegliche Platte *bb* und diese wird fortgeschoben; znrückgezogen aber wird dieselbe durch die federnde Platte *g*, welche durch die beiden Schräubchen *cc* mit der oberen Platte verbnnden ist. Die Zeigerplatte, an deren Rande eine Theilung *ii* angebracht ist, steht nicht in fester Verbindung mit der Schraube, sondern lässt sich durch Umdrehen der Mutter *l* lösen. So kann ihr Nullpunkt in

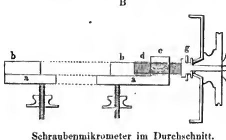
Fig. 203.

A



Schraubenmikrometer von oben gesehen.

B



Schraubenmikrometer im Durchschnitt.

Uebereinstimmung gebracht werden mit der Theilung auf der Scala *m*, wodurch die vollständigen Umdrehungen angegeben werden. Ausserdem ist noch ein Nonius dabei, der aber nicht mit abgebildet ist, damit auch die Bruchtheile auf den Theilungen des Zeigerblattes abgelesen werden können.

Ziemlich die nämliche Construction haben die späteren Schraubenmikrometer von Plössl, von Schiek und Anderen, nur finden sich bei diesen stärkere Spiralfedern, wodurch der todte Gang der Schraube bei diesen Instrumenten ganz wegfällt.

Die Theilung der Schraubenmikrometer variirt natürlich bei den verschiedenen Optikern. Die Einheiten am Plössl'schen Schraubenmikrometer sind unmittelbar $^1/_{10000}$ Wiener Zoll, und mit Hülfe des Nonius kann sogar $^1/_{100000}$ Zoll angegeben werden. Pistor und Martins haben die nämlichen Werthe nach dem Pariser Zoll. Schiek's Schraubenmikrometer geben Tausendtheile und Zehntausendtheile der Pariser Linie an, ebenso jene von Nobert.

Die französischen Optiker haben immer das Millimeter als Maasseinheit. Bei dem oben beschriebenen Brunner'schen Mikroskope (S. 166) ist jeder Theil an der Zeigerplatte = $^1/_{1000}$ Millimeter, und ein Nonius giebt noch Zehntausendtel an.

Dass man jedoch mit solchen Objecttisch-Schraubenmikrometern nicht so genaue Maassen bekommt, als jene feinen Theilungen vermuthen lassen, ist schon früher (II, S. 237) dargethan worden.

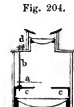
Da die Herstellung der Schraubenmikrometer grosse Sorgfalt und viel Zeit verlangt, so gehören diese Instrumente natürlicher Weise auch zu den theureren. Sie kosten bei Plössl 40 Gulden C.-M., bei Schiek 30 Thaler. Das Objecttisch-Schraubenmikrometer kostet bei Pistor und Martins gleichviel wie bei Schiek; sie liefern aber auch Ocular-Schraubenmikrometer für 35 Thaler. Bei Ross kostet ein solches Instrument 5 Pd. 5 Schillinge.

Es sind nun noch die verschiedenartigen Fäden zu nennen, deren man sich nach einander zu verschiedenen mikrometrischen Zwecken bedient hat. Es wurde bereits erwähnt (S. 365. 368), dass man zuerst Pferdehaare, Menschenhaare, Silber- oder Seidenfäden dazu nahm. Zu genauen Messungen waren diese alle viel zu dick und zu grob. Felix Fontana (*Saggio del real gabinetto di fisica e di storia naturale di Firenze.* Roma 1775) empfahl 1775 Spinnewebfäden, und durch Edward Troughton fanden diese zuerst in teleskopischen Instrumenten Anwendung (Brewster, *New Instruments*, p. 75). Da es aber so schwer hält, diese höchst feinen Fäden am gehörigen Platze zu befestigen, so ist man später auf andere Mittel zu ihrem Ersatze bedacht gewesen. So empfahl Brewster (*New Instruments*, p. 77) 1813 feine Glasfäden, die sich jedoch nur schwer so fein spinnen lassen, dass sie einem Spinnewebfaden von $^1/_{500}$ Millimeter

oder selbst noch weniger gleichkommen. Goring (*Micrographia*, p. 47) will Fäden aus in Terpentin gelöstem Cautschuk sehr brauchbar gefunden haben. Später hat Welcker (*Aufbewahrung mikroskopischer Objecte* u. s. w., S. 31) Canadabalsam für diesen Zweck empfohlen; er bringt nämlich ein Tröpfchen davon auf zwei Punkte des Diaphragmarandes, zwischen denen der Faden gezogen werden soll, steckt einen Stecknadelknopf in eins der Tröpfchen, nnd zieht nnn von einem Rande ans zum andern ein Fädcben. Das sind aber doch nur temporäre Hülfsmittel, und weit besser eignet sich Platindraht, den Wollaston in so grosser Feinheit herstellen lehrte; diesen benntzt aucb Schiek in seinen Mikroskopen.

Ich will noch erwähnen, dass Mohl (*Linnaea* 1842, S. 502) die Fäden durcb die feine Spitze einer Nadel zu ersetzen vorgeschlagen hat.

Fig. 204.



Quekett's Indicator.

Wirklich brachte Quekett (l. l. p. 130) eine Nadel ins Ocular, wie aus Fig. 204 zu ersehen ist, aber freilich zu einem ganz anderen Zwecke, nämlich um als Indicator zu dienen. Die Nadel *a* ist nämlich an der kleinen Stange *b* befestigt, die sich auf dem Oculardiaphragma *cc* herumdrebt, und oben einen kleinen Handgriff *d* hat, womit die Nadel nacb verschiedenen Punkten des Gesichtsfeldes gedreht werden kann. Es empfieblt sich diese Einrichtung zu mikroskopischen Demonstrationen, wo es darauf ankommt, die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Punkt oder Gegenstand zu lenken.

Ich habe noch ein Paar mikrometrische Methoden anzuführen, die **128**
zwar nicht in der Weise, wie die bisber genannten, im Gebraucbe sind, denen aber ein vernünftiger Gedanke zu Grunde liegt, so dass ihnen vielleicht späterhin für einzelne Fälle vor anderen Methoden der Vorzug eingeränmt wird.

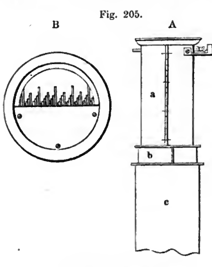
Hierher gehört znnächst die von Wollaston (*Philos. Transact.* 1813, p. 119) beschriebene Einrichtung, welche darauf abzweckt, dass, so wie beim Doppelsehen das vergrösserte Bild und ein Maassstab gleichzeitig mit beiden Augen angeschaut werden, hier das vergrösserte Bild und der getheilte Maassstab gleichzeitig mit Einem Auge zur Beobachtung kommen. Diesen Zweck erreicbte Wollaston mittelst einer Linse von $^1/_{12}$ Zoll Brennweite und einem so geringen Durchmesser, dass eine kleine Oeffnung, die zur Seite der Linse ins kleine die Linse enthaltende Röhrchen gebohrt war, nur $^1/_{25}$ Zoll vom Mittelpunkte der Linse abstand. Es treten dann die Lichtstrahlen durch die Linse und durch die Oeffnung gleichzeitig in die Pupille und erzeugen Bilder auf der Netzhaut. Wollaston benutzte das in Fig. 205 (a. f. S.) abgebildete Instrument. Dasselhe besteht aus drei in einander verschiebbaren Röhren *a*, *b* und *c*. Die erste enthält oben die soeben beschriebene Linse und gleich darunter den Objecttisch. Die

Digitized by Google

dritte oder unterste Röhre enthält die bei B abgebildete getheilte Scala aus Stückchen Metalldraht von etwa $^1/_{40}$ Zoll Dicke, die so wie in der Figur an einander gereiht sind, d. h. sie haben ungleiche Länge, und allemal das fünfte und das zehnte Stückchen ragt über die anderen heraus.

Der relative Werth der Abtheilungen dieser Scala variirt natürlich je nach ihrer Entfernung vom Auge. In dem Maasse, als die Scala durch Einschieben der Röhren dem Auge näher kommt, nimmt dieser Werth an Grösse zu, und ist derselbe einmal, indem man ein Object von bekanntem Durchmesser auf den Objecttisch bringt, für verschiedene Röhrenlängen bestimmt, so kann man diese Längen in einer Scala angeben, welche auf die Röhre *a* eingeschnitten wird. Wollaston benutzte als Object einen Golddraht, dessen Durchmesser er aus dem specifischen Gewichte und aus der Länge berechnete, und durch sein Instrument ermittelte er nun, dass bei 16,6 Zoll Abstand zwischen Scala und Linse jede Abtheilung der Scala $^1/_{10000}$ Zoll betrug, also bei 8,3 Zoll Abstand $^1/_{5000}$ Zoll; die dazwischen liegenden Bruchtheile $^1/_{6000}$, $^1/_{7000}$ Zoll u. s. w. wurden durch Abstände von 1,66 Zoll auf der Scala des Rohres ausgedrückt.

Fig. 205.



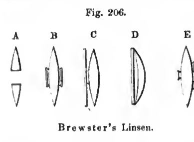
Wollaston's Mikrometer.

Es bedarf wohl keiner weiteren Ausführung, dass diese Methode auf rationeller Basis ruht, und wäre sie praktisch ausführbar, dann würde sie gewiss vor vielen anderen den Vorzug verdienen, namentlich beim einfachen Mikroskope, wo die meisten übrigen mikrometrischen Hülfsmittel nicht ausreichen. Leider ist aber Wollaston's Instrument nur sehr wenig brauchbar, wovon sich jeder beim Gebrauche desselben leicht überzeugen kann. Das durch die seitliche Oeffnung einfallende Licht thut bei etwas stärker vergrössernden Linsen der Helligkeit des Objectes, dessen Bild sich auf der Netzhaut formt, solchen Eintrag, dass man dieses Object, zumal ein sehr durchsichtiges, kaum noch wahrnimmt, und wenn man schwach vergrössernde Linsen wählt, so können diese nur so klein

sein, dass sie ebenfalls nur sehr wenig Lichtstärke besitzen. Jedenfalls müssten die Röhrchen für die Linsen so eingerichtet werden, dass zur Zeit der eigentlichen Beobachtung die Oeffnung durch ein darüber hinzuschiebendes Plättchen bedeckt bliebe und nur im Momente des Messens geöffnet würde. Da nun aber jetzt so viele Methoden zu Gebote stehen, um den Durchmesser der durchs Mikroskop beobachteten Objecte zu bestimmen, und da gegenwärtig das einfache Mikroskop weniger in Gebrauch ist, so lässt sich nicht wohl erwarten, dass dieses Wollaston'sche Instrument jemals als Mikrometer praktische Anwendung finden werde.

Noch weniger steht dies zu erwarten von einigen durch Brewster (*New Instruments*, p. 417) vorgeschlagenen Mitteln. Offenbar ging aber Brewster von dem nämlichen Principe aus, wenn er, wie es in Fig. 206 angedeutet ist, die Linsen dergestalt einrichtete, dass man Objecte, die sich in verschiedenen Entfernungen befinden, gleichzeitig dadurch sehen kann. Er empfahl übrigens zunächst eine durchbohrte Linse (A), sowie eine Linse, auf deren beide Flächen mit Canadabalsam ein rundes Glasscheibchen geklebt war (B). In beiden Fällen würden die durch den mittleren Theil der Linse gesehenen Objecte sich nicht vergrössert darstellen, und der Durchmesser der durch den Randtheil wahrgenommenen Objecte liesse sich daher mit den Theilungen einer durch den centralen Theil gesehenen Scala vergleichen. Ich muss aber bemerken, dass Brewster selbst diese Methode nicht zum Messen von Objecten empfohlen hat, sondern nur für bestimmte Fälle, z. B. um die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer festzustellen. Die Linsen C und D sollen dazu dienen, zwei Objecte, die sich nicht in grosser Entfernung von einander befinden, auf Einmal zu sehen, und die Linse E ist für Objecte in drei verschiedenen Entfernungen bestimmt.

Fig. 206.



Brewster's Linsen.

Brewster (*New Instruments*, p. 55. 73) beschrieb ferner ein Instrument, das er *Rotatory micrometer with points* nannte. Dieses Mikrometer sollte ebensowohl beim Mikroskope als beim Teleskope Anwendung finden können. Im Wesentlichen besteht es aus zwei sehr zugespitzt zulaufenden Stahlnadeln im Brennpunkte des Oculares, zunächst dem Rande des Gesichtsfeldes. Die eine Nadel ist unbeweglich, die andere dreht sich zusammen mit einem getheilten Kreise. Beim Messen wird die Nadel dergestalt gedreht, dass die Ränder des Bildes zwischen den beiden Spitzen sich befinden, und mittelst eines Nonius wird dann die Grösse des Bogens abgelesen, dessen Sehne dem Durchmesser des Bildes an

Grösse gleichkommt. In einer vorher berechneten Tabelle findet man die wahre Grösse.

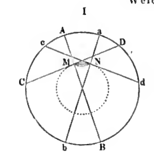
Dieses Mikrometer ist aber in doppelter Beziehung ein unvollkommenes Instrument. Erstens lassen sich nicht leicht sehr feine Messungen damit vornehmen; sodann aber müssen die zu messenden Objecte immer an den Rand des Gesichtsfeldes gebracht werden, wo die Bilder nicht so scharf sind, wie in der Mitte.

Besser, aber auf dem nämlichen Principe beruhend, ist das Mikrometer von Welcker (*Zeitschr. f. rat. Med.* Bd. 10, Hft. 1), welches Fig. 207

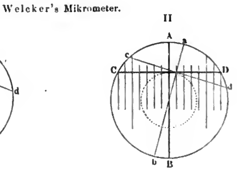
Fig. 207.

Welcker's Mikrometer.

I



II



III

dargestellt ist. Es fehlt hier der feste Punkt, der aber auch füglich entbehrt werden kann, und die bewegliche Spitze wird durch den Kreuzungspunkt zweier Spinnewebfäden AB und CD ersetzt, die quer über das Diaphragma des Oculares gezogen sind, und die man unter Umständen auch durch Fäden ersetzen kann, welche auf die vorhin erwähnte Weise aus Canadabalsam gebildet werden. Zur Messung des durchlaufenen Winkels dient eine Messingplatte, die die Form eines Kreissectors und eine in Grade getheilte Scala hat. Diese Messingplatte steht mit dem Mikroskoprohre in Verbindung, und ein langer am Ocularrohre befestigter Zeiger bewegt sich über der Theilung, wenn das Ocularrohr umgedreht wird.

Beim Gebrauche dieses Mikrometers muss zuerst, gleichwie bei vielen anderen solchen Instrumenten, der Werth der Scalaabtheilungen gefnnden werden, die man mit einem bekannten Maasse vergleicht, etwa mit einem Glasmikrometer, wie es bei II angegeben ist, wo man die Spinnewebfäden in zwei auf einander folgenden Stellungen AB und CD und ab und cd angegeben findet, in die sie kommen, wenn sich der Kreuzungspunkt von dem einen Rande einer Abtheilnng zu einem anderen fortbewegt. Hat

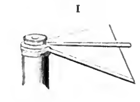
Digitized by Google

man einmal mit hinreichender Genauigkeit den Bogen kennen gelernt, welcher der Länge der so durchlaufenen Sehne entspricht, dann kann man mit Leichtigkeit die Länge jeder anderen Sehne für einen anderen Bogen finden, denn die Sehne jedes Bogens ist gleich dem doppelten Sinus des halben Bogens. Durch eine kleine Rechnung lässt sich somit der Durchmesser jedes zu messenden Objectes finden, welcher der Sehne des Bogens entspricht, die hier durch *MN* ausgedrückt ist, während die punktirte Linie den von *M* durchlaufenen Bogen bezeichnet.

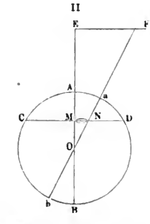
Wenn das ganze Mikroskop gehörige Festigkeit hat, dass beim Umdrehen des Oculares das Object im Gesichtsfelde durchaus keine Veränderung erleidet, dann lassen sich ohne Zweifel mittelst dieser Methode recht genaue Messungen ausführen. Eine nicht zu übersehende Fehlerquelle liegt indessen darin, dass der Durchmesser des zu messenden Objectes immer genau in der Richtung der Sehne des kleinen Bogens liegen muss, und man kein sicheres Merkmal dafür hat, dass sich das Object wirklich in dieser Richtung befindet. Aus diesem Grunde und nicht minder auch wegen der grösseren Einfachheit der Rechnung empfiehlt sich jene Modification des Welcker'schen Mikrometers, welche von Hodgson (*Quart. Journ.* 1856. April XV, p. 211) angegeben wurde, und die in Fig. 208 dargestellt ist. Den Kreissector mit der in Grade eingetheilten Scala ersetzt Hodgson durch eine rechtwinkelige Platte, auf der eine Eintheilung angebracht ist, parallel mit der einen den rechten Winkel einschliessenden Seite. Der Zeiger muss so lang sein wie die Hypothenuse. Bei dieser Einrichtung wird nun nicht mehr die Sehne gemessen, sondern die Tangente, und wenn der kleinere Spinnewebfaden den grösseren, gerade im Durchmesser liegenden, rechtwinkelig kreuzt, dann bezeichnet der erstere die Richtung der Tangente und somit auch die richtige Stellung des Objectes. Kennt man dann die Länge des kleinen Bogens, der durch die Verschiebung des Punktes *M* gebildet wird, und weiss man, wie dieselbe sich zu der Entfernung vom Mittelpunkte des Gesichtsfeldes bis zu der nächsten Abtheilung der Scala verhält, so erhält man den gesuchten Durchmesser durch ein einfaches Regel-

Fig. 208.

I



II



Welcker's Mikrometer, von Hodgson verbessert.

Digitized by Google

detriexempel. In der Figur sei MN das Object, an dessen Rändern der Spinnewebfaden sich successiv in AB und ab befunden hat. Da die Dreiecke EOF und MON einander ähnlich sind, so verhält sich $EO : MO = EF : MN$. Hat man erst die wahre Länge von MO gefunden, indem man ein Glasmikrometer als Object benutzt und das Ocular ein halbes Mal umdreht, so dass der Punkt M successiv an zwei Stellen des Durchmessers kommt, was dadurch erkannt wird, dass der Spinnewebfaden CD mit den Theilungsstrichen parallel ist, dann braucht man nur noch die Länge von OE zu wissen, und man findet die Grösse der in der Linie MD gelegenen Objecte, die von den Schenkeln des Winkels EOF begrenzt werden. Ist EO hundert Mal länger als MO, dann ist der Durchmesser des Objectes gleich $^1/_{100}$ des Maasses, welches durch den Zeiger auf der getheilten Scala angegeben wird. Bei stärkeren Vergrösserungen, wenn MO nur ein kleiner Bruchtheil eines Millimeters wird, ist es vielleicht 1000 Mal in EO enthalten, ohne dass die rechtwinkelige Platte eine ungewöhnliche Grösse bekommt; es entspricht dann z. B. jeder Millimeter der Scala $^1/_{1000}$ Millimeter des gefundenen Maasses, und noch kleinere Theile lassen sich abschätzen.

Dieses Verhältniss zwischen den Theilen der Linie MD und der Scala lässt sich auch auf mehr directem Wege durch die verschiedenen Vergrösserungen bestimmen, indem man nämlich ein Glasmikrometer dergestalt auf den Objecttisch legt, dass sein Bild in die Linie MD fällt. Man erforscht dann, welche Abtheilungen der Scala bestimmten Abtheilungen des Mikrometers entsprechen, wenn man das Ocular mit dem Zeiger umdreht. Bei diesem Verfahren setzt man sich auch nicht dem Fehler aus, der aus der möglichen Excentricität des Punktes O entstehen kann. Werden nämlich die auf solchem Wege gewonnenen Resultate in einer Tabelle zusammengestellt, so lässt sich diese für alle späteren Messungen benutzen.

129 Savery und Bouguer (*Mém. de l'Acad.* 1748) erfanden das Doppelbildmikrometer, welches späterhin durch Dollond (*Philos. Transact.* 1753, p. 167) eine Verbesserung erfuhr. Die ursprüngliche Bestimmung desselben ging dahin, beim Teleskope benutzt zu werden, namentlich sind die sogenannten Heliometer damit versehen. Später wurde die nämliche Einrichtung von Young und vom jüngeren Dollond auch auf das Mikroskop übertragen, aber meines Wissens bis jetzt nur auf ein kleines Instrument, womit die Dicke der Wollenfäden bestimmt wird, weshalb es Eirometer genannt wird.

Es ist ein gewöhnliches zusammengesetztes Mikroskop. Unmittelbar vor dem Objective befindet sich eine planconvexe Linse, die in der Mitte quer durchschnitten ist und deren Hälften mittelst eines Triebes sich über einander verschieben. So lange die beiden Hälften Eine Linse

bilden, hat man von einem davor befindlichen Objecte nur Ein Bild, werden aber durch Umdrehen des Knopfes die beiden Linsenhälften verschoben, so entstehen augenblicklich zwei Bilder, und die Grösse des Objectes hat man in dem Augenblicke, wo die Ränder der beiden Bilder gerade mit einander in Berührung kommen. Diese Grösse wird auf einer Scala abgelesen, welche auf einer durch einen Trieb bewegten Platte eingeschnitten ist; Tausendtel des Zolls sind direct darauf angegeben, nnd mittelst eines Nonius erkennt man auch noch Zehntausendtel.

Das zusammengesetzte Mikroskop zum Dollond'schen Eirometer ist nicht achromatisch, und da sich eine planconvexe Linse zwischen dem Objecte nnd dem Objective befindet, so kann es auch nur mässig vergrössern. Ein von mir nntersuchtes derartiges Instrument vergrösserte 55 Mal; grosse Genauigkeit ist demnach nicht damit zu erreichen. Das hat sich mir auch durch Vergleichung der auf diesem Wege und durch andere Methoden erhaltenen Resultate, wobei das nämliche Object zehnmal gemessen wurde, bestätigt. Als Object diente aber das erste Mal ein 0,5 Millimeter grosser Abschnitt eines Glasmikrometers, und bei einer zweiten Versuchsreihe ein 0,109 Millimeter dickes Haar.

Object.	Benutzte Vergrösserung.	Grösste Differenz bei den einzelnen Messungen.	Wahrscheinlicher Fehler des gefundenen Mittels.	Wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Messung.
1. Glasmikrometer.				
Doppelbildmikrometer . . .	55	1/196 mm	1/2630 mm	1/148 mm
Ocnlarschraubenmikrometer	68	1/300	1/4850	1/1502
Doppelsehen	46	1/116	1/1410	1/404
2. Haar.				
Doppelbildmikrometer . . .	55	1/131	1/1730	1/559
Ocularschraubenmikrometer	68	1/449	1/6850	1/2150
Doppelsehen	46	1/231	1/4480	1/1400

Wie ungünstig aber auch diese Ergebnisse sind, sie beweisen nichts gegen das zu Grunde liegende Princip, sondern sprechen nur gegen die Methode der Anwendung. Soll sich das Doppelbildmikrometer beim Mikroskope fruchtbar erweisen, so muss die Spaltung des Bildes nicht vor, sondern hinter dem Objective stattfinden. Dann erst wird es möglich, aplanatische Linsensysteme mit kurzer Brennweite dabei zu benntzen. Es sind verschiedene derartige Einrichtungen zu astronomischen Messungen erfunden worden, die man bei W. Pearson (*Introduction to practical*

Digitized by Google

Astronomy. Lond. 1829) beschrieben und abgebildet findet. Ramsden (*Philos. Transact.* 1779) verfertigte zuerst ein terrestrisches Ocular, das als Doppelbildmikrometer benutzt wurde; es erfuhr dann von Dollond und besonders von Jones Verbesserungen. Besonders wichtig waren aber die Verbesserungen Airy's (*Greenwich Observations* 1840. *Introd.* p. 65). Das nach seiner Anweisung von Simms in London gefertigte Doppelbildmikrometer ist ein terrestrisches Ocular mit vier Gläsern, von denen das dritte, vom Auge an gerechnet, durchschnitten ist. Insofern stimmt es mit dem früheren Instrumente von Jones überein; doch sind die Gläser nach Airy's eigener Theorie gearbeitet. Kaiser (*Natuurkundige Verhandl. d. Kon. Akad.* 1857, VI.) gab einen ausführlichen Bericht über dieses Airy'sche Mikrometer, und fügte Vorschriften hinzu, wie die aus der Krümmung des Gesichtsfeldes entspringenden Fehler beseitigt werden können, die in der Hauptsache mit dem, was ich früher über andere mikrometrische Methoden angegeben habe, übereinstimmen. Ich kenne dieses Mikrometer nicht selbst, zweifele aber nicht daran, dass es mit der nöthigen Modification in der optischen Zusammensetzung auch beim Mikroskope anwendbar ist, und dass es bei gehöriger Einrichtung für ganz genaue Messungen vielleicht vor anderen den Vorzug verdienen mag, wenn nicht etwa die grössere Zahl der Glasoberflächen auf die Schärfe und die Deutlichkeit des Bildes einen schädlichen Einfluss übt. Sein hoher Preis wird aber wohl einer allgemeineren Benutzung hindernd im Wege stehen; denn das nach Airy's Vorschrift gefertigte Instrument kostet 16 Pfund 16 Schilling.

Das Doppelbildmikrometer von Clausen (*Astron. Nachrichten*, Nr. 414) lässt sich vielleicht auch beim Mikroskope benutzen. Die Spaltung des Bildes wird hier durch eine dicke getheilte Glasplatte mit platten parallelen Oberflächen bewirkt. Die Porro'schen Mikrometer, mit denen Secchi in Rom erfolgreiche Versuche angestellt hat (*Comptes rendus* XLI, p. 906), scheinen nichts anderes zu sein als solche Clausen'sche Mikrometer.

Man glaube nicht, dass solche zusammengesetzte Instrumente, wenn sie sich vor anderen durch grössere Genauigkeit der damit bewirkten Messungen auszeichnen, zur mikroskopischen Untersuchung überflüssig sind und überflüssig bleiben werden. Es wird, wenn auch erst nach Jahrhunderten die Zeit einmal kommen, wo man die ganze Physiologie in mathematischen Formeln abfasst, wie jetzt die Astronomie, und ganz genaue Messinstrumente der verschiedensten Art sind unerlässlich, um diesen Zustand vorzubereiten.

130 Gleich dem Eirometer ist auch der Dickenmesser (*Mensurateur*) von Lebaillif (Chevalier a. a. O. S. 91, Taf. II, Fig. 12) zu technischem Zwecke bestimmt; doch wird damit auf ganz andere Weise gemessen.

Eine mikrometrische Theilung auf Glas kommt nämlich als Object unter das Mikroskop, und auf ein darunter liegendes Glastäfelchen ist mit einem Diamanten ein feiner Strich gezogen. Nun misst man, wie die relative Lage des eingetheilten Maassess über diesem Striche differirt, wenn ein dünner Körper, etwa Papier, zwischen das Ende einer Schraube und ein Knöpfchen kommt, welches mit dem Glastäfelchen mit mikrometrischer Theilung in Verbindung steht.

Zu eigentlichen mikroskopischen Untersuchungen ist indessen ein so eingerichtetes Instrument nur selten zu benutzen, ausser um die Dicke von Deckplättchen zu messen. Dazu aber giebt es noch andere Hülfsmittel, wie wir gleich sehen werden.

Goring (*Micrographia*, p. 52) hat ein mikrometrisches Verfahren 131
angegeben, das in manchen Fällen gute Dienste leisten kann. Er nahm ein 6 Zoll langes und 1 Zoll breites Rohr, brachte an das eine Ende ein Perlmutter- oder Haarmikrometer, an das andere Ende aber eine für parallele Strahlen verbesserte achromatische Linse von etwa $^1/_2$ Zoll Brennweite und $^1/_4$ Zoll Durchmesser, oder in deren Ermangelung ein achromatisches Objectiv von einem zusammengesetzten Mikroskope, woran die convexe Seite der Linsen nach unten sieht. Wird dieser Apparat unter dem Objecttische des Mikroskopes befestigt und mit einem Triebe versehen, wodurch die Linse oder das Linsensystem höher oder tiefer gestellt werden kann, so kann man natürlich das Bild des darunter befindlichen Mikrometers gerade ins Gesichtsfeld fallen lassen, wo dann dieses Bild und das Object gleichzeitig scharf gesehen werden. Natürlich muss der Werth der Abtheilungen in dem Bilde vorher genau bestimmt werden, wenn man ein Object damit messen will, und das geschieht am füglichsten durch Vergleichung derselben mit einem anderen Objecte, dessen Durchmesser bereits bekannt ist.

Einen Vortheil bietet diese Messmethode insofern, als sie auch beim einfachen Mikroskope in Anwendung gezogen werden kann. Fürs zusammengesetzte Mikroskop steht sie aber natürlich vielen anderen in der Genauigkeit nach, einmal weil man keine ganz feinen Messungen dadurch erzielen kann, und zweitens weil das durch die Linse erzeugte Bild, mag diese Linse auch noch so gut aplanatisch sein, doch nicht die Schärfe besitzt, wie ein wirkliches Object. Ein Glasmikrometer im Oculare, mit dem man das Nämliche erreichen kann, ist in dieser Hinsicht vorzuziehen.

Wenn auch nicht zum Messen, so ist dieses Verfahren doch recht brauchbar zum Zeichnen der Objecte, da es sich mehrfach modificiren lässt, indem man das Gesichtsfeld in vierseitige oder sonst beliebige Felder theilt. Als eine solche häufiger anwendbare Modification ist die Methode anzusehen, die ich oben (II, S. 281) beschrieben habe.

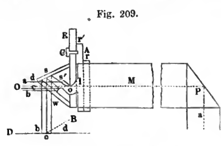
Digitized by Google

132 Jetzt habe ich noch über eine ganze Klasse mikrometrischer Methoden zn herichten, die alle daranf hinauslaufen, jene durchs Mikroskop geformten Bilder auf Oherflächen ausserhalh des Mikroskopes zu projiciren nnd hier zu messen, woriiher anch Bd. I, S. 188 u. fg. zn vergleichen ist.

Wollaston (Nicholson's *Journal*, Vol. 18, p. 1) erfand 1811 das Instrument, welches er Camera lucida nannte, nnd schon im folgenden Jahre henutzte es Weickert (Gilhert's *Annal.* Bd. 12, S. 110) beim zusammengesetzten Mikroskope. Im Jahre 1816 fügte Amici seinem katadioptrischen Mikroskope eine andere Art von Camera lucida bei, indem er eine kleine Tafel von dickem Glase mit parallelen Flächen unter einem Winkel von 45° einschob; dadurch wurde der nämliche Zweck erreicht, wie dnrch Wollaston's Einrichtung, wenn anch nicht in gleich vollkommener Weise, weil die Reflexion hier keine ganz vollständige ist. Im Jahre 1827 hrachte dann Amici die früher (I, §. 183) heschriebene Einrichtung bei seinem katadioptrischen Mikroskope an, die sich insofern wesentlich von der ersteren nnterscheidet, als das Ange in der gleichen Richtung sieht, welche das Mikroskoprohr hat, und nicht senkrecht anf dieses gerichtet ist.

In der Hauptsache stimmt damit jenes Instrument, welches Hagenow mit dem etwas prahlerischen Namen Dikatopter belegte, und das in Fig. 209 im Durchschnitte dargestellt ist. Dasselbe wnrde von H. Emsmann (Poggendorff's *Annal.* 1853, Bd. 88, S. 262) ausführlich beschrieben. Znerst war es nur dazu hestimmt, Ohjecte genan nachzuzeichnen, die gar nicht oder doch nur wenig dnrch eine Lnpe vergrössert wurden; später hat er es aher anch für das zusammengesetzte Mikroskop eingerichtet. (Karl B. Heller: *Das dioptrische Mikroskop.* Wien 1856, S. 51.) Von der früheren Amici'schen Einrichtnng unterscheidet sich dieses Instrument häuptsächlich dadurch, dass das Prisma dnrch einen Glasspiegel ersetzt ist, der überdies nicht nnter, sondern über dem durchbohrten Spiegelchen sich befindet. Das Spiegelchen *s* ist unter einem Winkel von 65° vor dem Oculare aufgestellt. Gegenüber demselben, gleich vor dem Ocularrohre *l*, ist ein durchbohrtes kreisrundes Metallspiegelchen *s'* unter einem Winkel von 17° hefestigt. Beide Spiegel sind gegen seitlich einfallendes Licht durch passend angehrachte Wandungen *w* geschützt und an den beweglichen Ring *R* befestigt. Dnrch *r* nnd *r'*

Fig. 209.



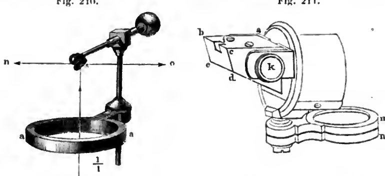
Hagenow's Dikatopter.

ist der Apparat an das Rohr *M* angeheftet. Der Ring *r'* trägt überdies die vierseitige Säule *A*, um mittelst der Schraube *C* dem Apparate die nöthige Beweglichkeit geben zu können. Das Ange des Beobachters, das sich bei *O* befindet, empfängt direct durch die kleine Oeffnung *o* die vom Prisma *P* reflectirten Strahlen des Gesichtsfeldes und gleichzeitig auch jene von dem Papierblatte *D* und vom Bleistifte *B*. Denn die von hier ausgehenden Strahlen *b*, *c*, *d* werden zuerst durch den grossen Spiegel *s* reflectirt, erleiden dann auf dem kleinen dnrchbohrten Spiegelchen *s'* eine zweite Reflexion und treten so ins Ange ein.

Früher schon, etwa um 1823, hatte der jüngere Sömmerring*) das nach ihm benannte Spiegelchen erfunden, welches zuerst von Fraunhofer angefertigt wurde. Vor mehreren Jahren ersetzte es Oberhäuser durch ein ganz kleines rechtwinkeliges Prisma, das ganz ebenso wirkt, aber wegen der vollständigen Reflexion den Vorzug verdient.

Die Art nnd Weise, wie man diese verschiedenen katoptrischen und dioptrischen Apparate mit dem zusammengesetzten Mikroskope in Verbindung bringt, läuft im Allgemeinen darauf hinaus, dass sie an ein kurzes Rohr oder an einen Ring angesetzt werden, der ans Ocular passt und sich nach Bedarf wieder wegnehmen lässt. In Fig. 210 ist das Sömmerring'sche Spiegelchen abgebildet, und in Fig. 211 Wollaston's Camera lucida nach Ross. Hier ist das Prisma in das Kästchen *abcde* einge-

Fig. 210. Fig. 211.



Sömmerring's Spiegelchen. Wollaston's Camera lucida.

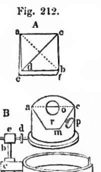
schlossen, das bei *i* eine kleine Oeffnung fürs Auge hat. Der Knopf *k* wirkt auf die Axe, woran das Prisma hängt, und vermag somit, dessen Richtung etwas zu verändern. Die grösste Schwierigkeit bei Verwendung eines solchen Instrumentes zum Zeichnen liegt darin, dass der Bleistift und das Bild zu gleicher Zeit scharf gesehen werden sollen; deshalb hat Ross

*) Mit Unrecht bezeichnet R. Wagner (Sömmerring's Leben, S. 156) den berühmten Anatomen als Erfinder; das ergiebt sich deutlich aus dessen Abhandlung: *Ueber das feinste Gefässnetz der Aderhaut.* S. 6.

zwei Linsen *m* und *n* unter das Prisma gebracht, damit die Strahlen des Papiers und des Bleistifts unter dem nämlichen Winkel divergiren, wie jene vom Prisma kommenden; dann werden das Objectbild und der Bleistift gleich deutlich gesehen.

Eine von Nachet angegebene Camera lucida ist Fig. 212 dargestellt. Bei A sieht man ein prismatisches Stück Glas, das ursprünglich die Form eines rechteckigen Parallelepipedums hatte, 10 Millimeter lang, 7,5 Millimeter breit und 12 Millimeter hoch ist. Daran sind zwei dreieckige Flächen geschliffen, nämlich *dac* und gegenüber *acb*. Es sind gleichschenkelige Dreiecke, deren Spitzen sich in *a* und *c* befinden; die Seite *ac* ist ihnen gemeinschaftlich, und sie sind unter einem Winkel von etwa 60° gegen einander geneigt. Die Strahlen treten durch die länglich-vierseitige Fläche *cdbf* ein, erreichen die dreiseitige Fläche *abc*, werden hier reflectirt und treten durch die dreiseitige Fläche *dac* wieder nach aussen. Bei B sieht man, wie diese Camera lucida zur Benutzung beim Mikroskope eingerichtet ist.

Fig. 212.



Nachet's Camera lucida.

Der Ring *a* passt fürs Ocular; *b* ist eine kleine runde Stange, die sich in *c* dreht, und ebenso dreht sich *d* in *e*; *d* aber steht mit dem Metallkästchen *m* in Verbindung, worin das gläserne Prisma enthalten ist. Dieses wird durch die Schraube *p* und durch die fast dreiseitige Platte *r* darin festgehalten, welche letztere nach oben eine kleine runde Oeffnung *o* besitzt, wodurch man die obere Kante *ac* des Prisma sieht, doch so, dass die Hälfte der Oeffnung freibleibt, um zugleich die Oberfläche wahrzunehmen, auf welche projicirt wird.

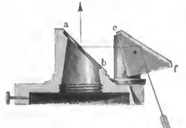
Bringt man diese oder eine andere Camera lucida auf das Ocular eines vertical stehenden Mikroskopes, so versteht es sich von selbst, dass die Bilder auch auf eine verticale Fläche projicirt werden. Das würde beim Gebrauche unbequem sein, und deshalb pflegt man das Mikroskop horizontal zu stellen, wenn es dessen mechanische Einrichtung gestattet, oder man benutzt neben den eigentlichen Projectionsmitteln noch ein rechtwinkeliges gläsernes Prisma, wodurch das Strahlenbündel eine horizontale Richtung bekommt.

Das einfachste Hülfsmittel dieser Art, wodurch sowohl die horizontale Stellung des Mikroskopes als das Einschieben eines Prisma überflüssig wird, ist die Camera lucida, deren ich schon früher (I, Fig. 79) gedacht habe. Ich sah sie zuerst am Nobert'schen Mikroskope, wie sie in Fig. 213 abgebildet ist; man kann sie aber auch von Nachet um 25 Francs beziehen. Hier ist *cdf* das um eine horizontale Axe verstellbare Prisma und *ab* eine dünne unter einem Winkel von 45° geneigte

Digitized by Google

Glasplatte, die über das Ocular kommt. Wer nun hindurchsieht, nimmt gleichzeitig den Bleistift, den Cirkel oder andere Gegenstände wahr, die sich zur Seite des Mikroskopes befinden. Bei einem vertical stehenden Mikroskope sieht man also die Hand, welche den Bleistift oder den Cirkel hält, auf dem Tische, der das Mikroskop trägt, zugleich mit dem im Gesichtsfelde befindlichen Objecte. An dieser so einfachen und bequemen Vorkehrung ist nur das zu tadeln, dass wegen der unvollkommenen Reflexion an der Oberfläche des schiefstehenden Glasplättchens nur wenige Strahlen von den zur Seite des Mikroskopes befindlichen Objecten ins Auge gelangen. Indessen weiss ich aus Erfahrung, dass sie gleichwohl für die meisten Fälle ausreichend ist.

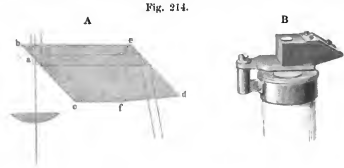
Fig. 213.



Nobert's Camera lucida.

Noch besser kommt man zum Ziele mit der Camera lucida, wie sie Nachet seit 1860 einrichtet, und die in Fig. 214 dargestellt ist. Durch

Fig. 214.



Neuere Camera lucida von Nachet.

A wird die prismatische Reflexion der Strahlen erläutert, worüber bereits früher (I, S. 191) gehandelt worden ist; durch B aber erhellt, wie das von einer Hülse umschlossene Prisma über das Ocular kommt.

Die mancherlei Hülfsmittel waren beim zusammengesetzten Mikroskope schon viele Jahre in Gebrauch gewesen, als Chevalier (*Annales des Sc. natur.* 1836. 2. Série, V, p. 116) die Camera lucida auch beim einfachen Mikroskope in Anwendung zog. Er brachte es dabei in die horizontale Stellung. Aber noch im nämlichen Jahre wurde dies von Milne Edwards und Doyère (*Comptes rendus.* 1836, Febr. 8) verbessert: über die Linse des verticalen Mikroskopes brachten sie unter einem Winkel von 45⁰ einen flachen Spiegel, und gegenüber einen zweiten damit parallelen, worin das Auge das reflectirte Bild erblickt und auf ein

Digitized by Google

darnnter liegendes Papier projicirt. Selbstverständlich ist diese Vorrichtung anch beim znsammengesetzten Mikroskope anwendbar.

Die neuere Camera lucida Nacbet's kostet 25 Francs, die ältere für Horizontalstellung des Mikroskopes 18 Francs.

Zeiss liefert die Camera lucida nach Nachet um 5 Thaler, jene nach Nobert um 6 Tbaler.

Bei Bénèche ist die Camera lucida mit 5 Thalern notirt.

Bei den englischen Optikern kostet sie ein Pfund Sterling oder darüber.

Endlicb erwähne icb noch, dass aucb die verschiedenen Bildmikroskope zum Messen und Zeichnen von Objecten benntzt werden können, namentlich aber die tragbaren Apparate, welcbe die Bilder auf ein borizontales mattes Glas oder auf Papier projiciren, worüber S. 288 u. fg. sowie Bd. II, S. 278 nacbzusehen sind.

133 Bei allen Mikroskopeu, deren feiue Einstellung mittelst einer Schraube bewirkt wird, kann man auf deren Knopf eine Theilung einschneiden und in verticaler Richtung messeu, ganz so, wie man mit dem gewöhnlicben Schraubenmikrometer iu borizontaler Ebene misst. Will man z. B. den verticalen Abstand zweier Objecte wissen, die sich übereinander im Gesicbtsfelde befindeu, so wird zunächst das Mikroskop so eingestellt, dass das eine Object ganz deutlich und scbarf sich darstellt, hierauf aber die Schraube umgedrebt, bis man auch das andere Object gleich scharf sieht, und alsdann wird abgelesen, wie viele Umdrehnngen der Schraube stattgefunden haben. Auf diese Weise kann man z. B. die Dicke der Zellenscbichten iu Pflanzengeweben bestimmen, die Dicke von Gefässen n. s. w., desgleichen die Dicke der zn mikroskopischen Untersuchnngen benutzten Deckplättchen, wobei kleine Staubtheilcben, Ritze nnd dergleichen an den beiden Oberflächen als Erkennungsmittel dienen. Wenn aber das Object in einer Flüssigkeit liegt, so ist der also gefundene Werth nicht der wahre, vielmehr erfordert der Einfluss des Brechungsvermögens der Flüssigkeit auf den Gang der Lichtstrahlen eine Correction, worüber früher (II, S. 271 u. fg.) ausführlicher gehandelt worden ist.

An diese Anwendung der Schraube scbeint zuerst Dakin (*Philos. Magaz.* IV, pag. 429) im Jahre 1828 gedacht zu haben, von dem auch die Bezeichnnng Focimeter herrührt. Einige Jahre später bekam nach Solly's Vorschlag das Mikroskop, welches Ross für Valentine lieferte, ebenfalls ein solches Focimeter. Die Schraube batte 50 Gänge auf den Zoll nnd das Zeigerblatt war in hundert Theile getbeilt, d. h. jede Abtheilung desselben war = $^1/_{5000}$ Zoll oder etwa 0,005 Millimeter.

Ohne davon zu wissen, kam ich 1838 auf die nämliche Idee. Ich versah mein bereits beschriebenes einfacbes Mikroskop, bei dem geschmolzene Glaskügelchen als Vergrösserungsgläser dienten, mit einem solchen Focimeter; die Schraube hatte auf 18 Millimeter Länge 30 Gänge

und das Zeigerblatt war in 100 Theile getheilt, so dass also jede Abtheilung 0,006 Millimeter gleichkam.

In neuerer Zeit ist es in England allgemein in Gebrauch gekommen, auf den Knopf der Schraube für die feine Einstellung eine Theilung einzuschneiden. Bei den Mikroskopen von Smith und Beck wird dadurch die Dicke der Deckplättchen gemessen, unter Berücksichtigung der Veränderungen, welche das Objectiv demgemäss (S. 213) erleiden muss. Pritchard und Powell haben auch solche Focimeter bei ihren Mikroskopen; die Schraube ist dabei mit einer geneigten Fläche in Verbindung gesetzt, wodurch die Objectplatte gehoben wird. Die geneigte Fläche zur feinen Einstellung reicht aber bis auf Lyonet zurück (S. 54); dieser bediente sich derselben, freilich auf etwas rohere Weise, schon bei seinem Dissectionsmikroskope. Es versteht sich von selbst, dass hier alle die zahlreichen Modificationen zur feinen Einstellung ebenfalls zulässig sind.

Endlich ist auch noch der Goniometer zu gedenken. Brewster 134
(*New. Instr.* p. 110) hat zuerst im Jahre 1813 ein Mikroskop beschrieben, das ausdrücklich zu Winkelmessungen bestimmt war. Das Ocular ist in eine eingetheilte Kreisplatte gefasst, mit einem Nonius versehen, und darüber befindet sich ein Spiegelchen von schwarzem Glase. Die Kreistheilung wird zugleich mit dem Spiegelchen gedreht, bis die Linien, welche den Winkel bilden und sich gleichzeitig im Gesichtsfelde des Mikroskopes und im Spiegelchen zeigen, zusammen eine einzige verlängerte gerade Linie darzustellen scheinen, und dann wird weiter gedreht, bis die nämliche Erscheinung von Neuem eintritt. So erhält man die verlangte Grösse dieses Winkels.

Eine einfachere Einrichtung wurde 1833 von Raspail (*Nouveau Système de Chimie organique*, p. 53) angegeben. Ein getheilter Kreis wird auf Leim (sogenanntes Glaspapier) gravirt, in den Focus des obersten Oculares gebracht, und darüber wird ein Faden in der Richtung des Durchmessers gespannt. Auf das bewegliche Rohr dieses obersten Oculars kommt ein im Inneren geschwärztes Futteral von Pappe, worin ebenfalls ein Faden befestigt ist, so dass die beiden Fäden einander decken können, sich aber unter einem Winkel kreuzen, sobald das oberste Ocular herumgedreht wird.

Fig. 215.

a

Chevalier's Goniometer.

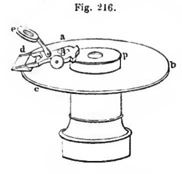
Diese jedenfalls unvollkommene Einrichtung wurde durch Chevalier verbessert, der nach dem nämlichen Principe das in Fig. 215 abgebildete Goniometer construirte. Es sind zwei kreisrunde Glasplatten, jede mit einem durch den Diamanten gezogene Striche in der Richtung des Durchmessers. Die eine Platte ist unbeweglich im Focus des obersten Ocu-

lares, die zweite aber befindet sich unmittelbar über der ersteren, in einen in Grade getheilten Ring gefasst, der im Umfange mit Zähnen versehen ist. Da hinein greifen die Zähne eines kleinen Rades zur Seite des Oculares, welches durch den Knopf *a* herumgedreht wird.

Eine ganz genaue Messung ist aber auch mit Chevalier's Goniometer noch nicht möglich. Weit besser kommt man zum Ziele durch zwei andere Methoden, die darin mit einander übereinkommen, dass im Oculare ein Spinnewebfadenkreuz angebracht ist. In den Kreuzungspunkt kommt die Spitze des Winkels, den man messen will, so dass der eine Schenkel des Winkels mit dem einen Faden zusammenfällt. Wird dann entweder das Ocular oder der Objecttisch um seine Axe gedreht, bis der andere Schenkel mit dem nämlichen Faden zusammenfällt, so hat man natürlich durch den beschriebenen Drehungsbogen den Winkel gemessen.

Carl Schmidt (*Untersuchungsmethode der Säfte und Excrete* 1846, S. 19) beschrieb nämlich 1846 das in Fig. 216 dargestellte Goniometer. Ein in $^1/_3$ Grade getheilter Kreis *abc* ist am Körper des Mikroskopes befestigt. Ein Nonius *d*, über dem behufs der besseren Ablesung noch eine planconvexe Linse *e* angebracht ist, steht mit dem Rande des Oculares *p* in Verbindung, worin sich ein Fadenkreuz befindet. Einen zweiten Nonius könnte man gegenüber dem ersten anbringen, wenn der Kreuzungspunkt nicht ganz genau in der Axe liegt; Schmidt hält aber einen solchen nicht für nöthig, wenn das Instrument sorgfältig gearbeitet ist, da er mit seinem Schiek'schen Mikroskope den möglichen Fehler, auch ohne diesen zweiten Nonius, nicht viel über 20 Secunden hinausgehend fand. — Die andere derartige Einrichtung findet man an Pacini's Mikroskope (S. 175) und an den grösseren Brunner'schen Mikroskopen. Bei beiden ist der runde drehbare Objecttisch in Grade und Unterabtheilungen getheilt, so dass mittelst eines Nonius auch noch die Minuten abgelesen werden können.

Fig. 216.

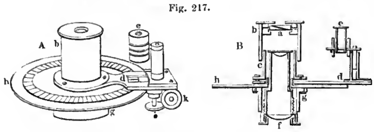


C. Schmidt's Goniometer.

Theoretisch betrachtet sind diese beiden Einrichtungen wohl gleich zweckmässig. Indessen gebe ich doch der Schmidt'schen den Vorzug, da man, wenn das Ocular sich um seine Axe dreht, die Spitze des Krystalls weit leichter gerade im Kreuzungspunkte der Fäden behält. Auch erfolgt die Vergrösserung der Bewegung blos durchs Ocular und jede Bewegung des Objecttisches wird immer in stärkerer Vergrösserung wahrgenommen, weil das Objectiv ebenfalls mitwirkt.

Noch genauere Messungen scheint aber das Goniometer zu liefern, welches Leeson im Jahre 1846 der *British Association* in Southampton vorlegte, und welches in Fig. 217 bei A in perspectivischer Zeichnung, bei B im Durchschnitte dargestellt ist. Der Winkel wird hier durch

Fig. 217.



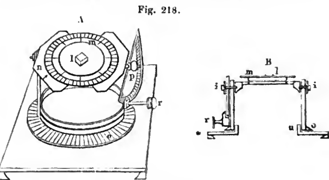
Leeson's Goniometer.

ein doppelt brechendes Prisma von Kalkspath oder von Quarz gemessen, welches so dick ist, dass die Bilder des zu messenden Winkels nur theilweise von einander getrennt sind. Bei *a* befindet sich ein achromatisches Kalkspathprisma, statt dessen man aber auch das Rochon'sche Quarzprisma nehmen kann; *b* ist das messingene Rohr, in welches das Prisma gefasst ist, mit einer runden Oeffnung über der Oeffnung des Oculares. Das Rohr *b* hat eine straffe Bewegung um das Rohr *c*, woran der Arm *d* sitzt, mit einem Nonius für den in Grade eingetheilten Kreis *h*. Dieser Kreis umgiebt das Ocular *f*, dessen Rohr in ein zweites Rohr *g* geschraubt wird. Letzteres schliesst genau ans Mikroskoprohr an. Der Nonius hat eine Klemmschraube *i* und eine Einstellungsschraube *k*. Ausserdem enthält das kleine Rohr *c* eine Lupe zum Ablesen.

Leeson hat auch noch einen besonders eingerichteten Objecttisch, um einen auf ein Glastäfelchen befestigten Krystall in die Stellung zu bringen, wobei die Messung am besten auszuführen ist. Derselbe ist Fig. 218 (a. f. S.) dargestellt, und zwar bei A in perspectivischer Zeichnung, bei B im Durchschnitte. Der Krystall kommt auf das Glastäfelchen *l*, welches in den Ring *m* passt, und dieser passt selbst wieder in den Ring *n*. Für grössere Krystalle kann auch ein Ring mit drei Schrauben genommen werden, zwischen deren mit Kork belegten Enden der Krystall eingeklebt wird. Am Ringe *n* sitzt eine halbkreisförmige Platte *p*; diese dreht sich um zwei Schrauben *i i*, welche durch zwei senkrecht stehende Stangen gehen, so dass sie durch die Klemmschraube *r* die verschiedensten Neigungen bekommen kann. Die Platte *p* kann in Grade getheilt sein und dann auch dazu dienen, die Neigung der optischen Axen bei polarisirtem Lichte zu bestimmen. Es lässt sich *m* nicht blos in allen Richtungen innerhalb *n* herumdrehen, und durch den Halbkreis *p* unter allen Winkeln neigen, sondern es lässt sich auch der ganze Ring *o*, in welchen die verticalen Stangen eingefügt sind, um das kurze Rohr *u* auf der Platte *s*

herumdrehen, die auf den Objecttisch des Mikroskopes befestigt wird. Der Ring *o* kann auch eine Gradeintheilung bekommen, wodurch er bei Untersuchungen mit polarisirtem Lichte benutzbar wird.

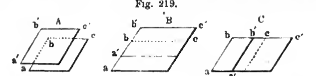
Fig. 218.



Objecttisch zu Leeson's Goniometer.

Betrachtet man daher einen Krystall durch das Prisma des Goniometers, so hat man beim Umdrehen des Prisma zwei Bilder desselben, die sich auf verschiedene Art decken können, z. B. so wie in Fig. 219 bei A. Soll dann der Winkel *abc* gemessen werden, so kommt der Nonius erst auf Nnll und wird hier festgeklemmt. Dann dreht man das Rohr *b* mit dem Prisma, bis die Linien, welche die eine Seite des Winkels bilden,

Fig. 219.



Stellung der Bilder mit Leeson's Goniometer.

in beiden Bildern zusammenfallen, gleich *ab* und *a'b'* in B. Hierauf wird der Nonins gelöst und über den eingetheilten Kreisbogen gedreht, bis die beiden Linien, welche die andere Seite des Winkels bilden, ebenfalls zusammenfallen, gleich *bc* und *b'c'* in C. In dem also durchlaufenen Bogen hat man das Maass des Winkels oder seines Complementes nach der Richtung, in welcher der Nonius bewegt wurde.

Ferner beschrieb Highley 1856 ein Mikroskop, welches ausdrücklich zu krystallographischen Untersuchungen bestimmt und mit mancherlei dazu dienenden Hülfsmitteln ausgestattet ist, wovon schon S. 238 die Rede war.

Zenger (*Mikroskopische Messungen der Krystallgestalten einiger Metalle* in: *Sitzungsber. d. Kais. Akademie in Wien* XLIV. 2. Abth. Heft III.) ermittelt die Form kleinerer Krystalle in der Weise, dass er mittelst eines Objecttisch-Schraubenmikrometers die Länge der Seiten oder Kanten

bestimmt, nachdem die zu messende Seite senkrecht zur optischen Axe gestellt wurde, nnd hieraus die Grösse der Winkel berechnet.

Ferner beschrieb G. Wertheim in einer Sitzung der Wiener Akademie (16. Jan. 1862) einen Apparat, womit mikroskopische Objecte in der Dickenrichtung gemessen werden können, nnd den er auch zu krystallographischen Bestimmungen benutzt. Das Wesentliche läuft darauf hinaus, dass er drei Punkte einer Fläche bestimmt und durch Berechnnng ihre Situation im Raume herausfindet. Das Nämliche wird dann für eine andere Fläche wiederholt, nnd hierauf ebenfalls durch Berechnung der Neigungswinkel gefunden.

Fünftes Kapitel.

Apparate und Hülfsmittel zum Schutze der Linsen bei mikrochemischen Untersuchungen.

Bei den meisten mikroskopischen Untersuchungen macht es sich 135
nöthig, dass man die Objecte mit dnrchsichtigen Plättchen bedeckt. Befinden sich die Objecte in einer Flüssigkeit, so schützen diese Plättchen die Linsen zngleich gegen die aufsteigenden Dünste, die sich sonst als Tröpfchen an die Oberfläche der Gläser anlegen würden. Ausserdem wird durch eine solche Bedeckung die Oberfläche der Objecte abgeplattet, was wesentlich dazu beiträgt, die Beobachtung mit mehr Sicherheit und Bequemlichkeit auszuführen, und aus naheliegenden Gründen ist dies nm so nöthiger, je stärker die benutzten Vergrösserungen sind.

Als man das Mikroskop erst zn gebrauchen anfing, nahm man allgemein Glimmerblättchen zu dieser Bedeckung, und noch bis vor wenigen Jahren musste man dazu allgemein die Zuflucht nehmen, wenn ganz dünne Deckplättchen nöthig waren. Indessen sind solche Glimmerblättchen selten ganz frei von kleinen Rissen und Sprüngen, und deshalb benutzte ich in früherer Zeit vielfältig das dünne Glashäutchen, welches erhalten wird, wenn man in einer Löthrohrflamme das geschlossene Ende einer Glasröhre erhitzt und dann rasch zu einer grossen Kugel ausbläst. Jetzt kann man dieses Glashäutchen sowohl wie die Glimmerblättchen entbehren, da man sich bei allen Verfertigern von Mikroskopen gläserne Deckplättchen verschaffen kann, die nur $^1/_3$ bis $^1/_7$ Millimeter dick sind, also anch für sehr starke Objectivsysteme sich als hinreichend dünn bewähren.

In England verfertigt Chance in Birmingham dieses Deckglas für mikroskopische Präparate im Grossen, und von den englischen Instrumentenmachern ist es daher anch in grossen Platten zu erhalten, aus denen man sich selbst Deckplättchen von beliebiger Grösse zubereiten

Digitized by Google

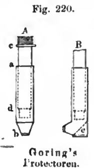
kann. Man muss aber einen Schreibdiamanten dazu nehmen, da ein gewöhnlicher Glaserdiamant das dünne Glas splittert. Vierseitige Deckplättchen schneidet man mit dem Lineal, runde und ovale mit gleichgestalteten Metallscheiben, indem man erst mit dem Diamanten nach der Richtung der Scheibe schneidet, und dann von diesem Einschnitte aus einige strahlenförmige Striche nach aussen führt, um den überschüssigen Rand abbrechen zu können. — Von Beale's Ring zur Anfertigung solcher Deckplättchen ist schon früher (II, S. 68) die Rede gewesen. Oschatz (Dingler's *polytechn. Journ.* 1849, XIII, S. 191) hat ausserdem ein ziemlich zusammengesetztes Instrument zum Schneiden dünner Glasplättchen empfohlen, das aber offenbar ganz überflüssig ist, wenn man statt des Glaserdiamanten einen Schreibdiamanten benutzt.

Mohl (*Mikrographie* S. 164) glaubte im Schönbein'schen durchsichtigen Papier einen passenden Ersatz für die gläsernen Deckplättchen zu finden. Dessen Bereitungsweise war damals noch unbekannt; jetzt weiss man aber, dass es erhalten wird, wenn man Collodium auf eine horizontale, mit Wasser befeuchtete Glasplatte ausgiesst. Ohne Zweifel lässt sich dieses durchsichtige Papier, wenn es gut zubereitet ist und das dazu benutzte Collodium ganz rein und durchsichtig war, zwischendurch anwenden; sicherlich aber wird seine Benutzung immer eine beschränkte bleiben, da es, wenn es auch von Wasser nicht angegriffen wird, gleichwohl der Einwirkung anderer Flüssigkeiten, die bei mikrochemischen Untersuchungen in Anwendung kommen, zugänglich ist.

136 Neben den Deckplättchen hat man späterhin noch Apparate zum Schutze der Linsen erfunden, wenn entweder das Objectiv unter Wasser kommt oder die Wirkung chemischer Reagentien auf die Objecte geprüft werden soll.

So empfahl Goring (*Microsc. Illust.*, p. 55) 1830 zwei kleine in Fig. 220 dargestellte Apparate, die er den geraden und den diagonalen Stiefel oder Protector (*direct and diagonal boot*) nannte. Bei A sieht man den geraden Stiefel, ein kurzes, kegelförmig zulaufendes Rohr *ab*, welches unten durch ein Glasplättchen wasserdicht verschlossen und mit einer längeren Röhre verbunden ist, die an das Mikroskoprohr passt, woran die Objective geschraubt werden. Durch diesen Stiefel werden die Linsen geschützt, wenn sie in Wasser tauchen. Der zweite bei B dargestellte Stiefel ist gebogen, hat aber die nämliche Zusammensetzung, abgerechnet ein Metallspiegelchen oder ein rechtwinkeliges Glasprisma *e*, die unter einem Winkel von 45° angebracht sind; dabei ist der kegelförmige Theil horizontal, so dass man damit Objecte betrachten kann, die sich an der Innenfläche eines Glasgefässes befinden.

Fig. 220.



Goring's Protectoren.

In der gleichen Absicht umgab Raspail (*Chimie organique*, p. 50) das Objectiv mit einer geschlossenen Glasröhre, deren Oberfläche an der Linse anliegt. Raspail benutzte sie vornehmlich, um die Wirkung der Siedhitze auf die Körper zu prüfen, wobei er den Spiegel durch eine Lichtflamme ersetzte. Dazu passt auch eine ganze Glasröhre besser, als der Goring'sche Stiefel, weil die Substanz, wodurch das platte Glastäfelchen an dem Stiefel befestigt wird, durch die Wärme leicht nachgiebt. Zu einer genauern Beobachtung indessen eignet sich das Goring'sche platte Glas besser, weil die gebogene Fläche des Bodens einer Glasröhre immer schädlich wirkt.

Die früher besprochene feuchte Kammer von Recklingbausen's (II, S. 99) ist eine ganz gute Modification dieser Vorrichtung.

Verhältnissmässig wenig scheint mir das kleine rechtwinkelige Prisma von etwa 9 Millim. Höhe zu nützen, welches Merz 1845 bei seinem Mikroskope anbrachte: es wird an das Objectiv angeschraubt, so dass die eine Kathetenfläche einem auf dem Objecttische stehenden Gefässe mit gläsernen Seitenwänden zugekehrt ist. Chemische Reactionen innerhalb dieses Gefässes können dann auf gewöhnliche Weise von der Seite beschaut werden. Einmal aber sind dabei nur schwach vergrössernde Objective anwendbar, weil das Prisma sich immer zwischen dem Objective und dem Gefässe befindet, und zweitens kann die Flüssigkeitsschicht, worin die Reaction stattfindet, hier unmöglich dünn genug sein, dass die darin befindlichen Objecte bei durchfallendem Lichte gehörig gesehen werden können, denn dazu würde künstliches Licht oder ein auf besondere Weise gestellter Spiegel erfordert werden.

Die vollkommenste Einrichtung zu mikrochemischen Untersuchungen bietet das umgekehrte Mikroskop von Chevalier, das später nach den Angaben von Lawrence Smith von Nachet verbessert wurde (S. 236), und das auch noch zu manchen anderen Untersuchungen besser sich eignet, als das gewöhnliche Mikroskop. Nur muss ich bemerken, dass die beigegebenen Apparate, womit die Veränderungen der Körper während des Kochens untersucht werden sollen, sich nur wenig oder gar nicht praktisch bewähren, weil beim Sieden der Flüssigkeit die kleinen darin befindlichen Körperchen keinen Augenblick im Gesichtsfelde und noch viel weniger im Focus des Objectives bleiben, überdies auch der Spiegel bald mit Dampf beschlägt und das Licht nicht mehr gehörig reflectirt.

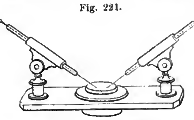
Praktischer ist der heizbare Objecttisch von Max Schultze, in Verbindung mit von Recklingbausen's feuchter Kammer, wovon oben (II, S. 147) die Rede war.

Immer noch sind zu mikroskopischen Untersuchungen die einfachsten Mittel, die bei jedem Mikroskope Anwendung finden können, auch die besten, und bei einiger Vorsicht, zumal wenn man grössere Deckplättchen nimmt, läuft man weniger oder gar keine Gefahr, die Objectivlinsen zu beschädigen, selbst wenn scharfe flüchtige Reagentien in An-

wendung kommen. Die nöthigen Anweisungen dafür sind aber schon im zweiten Bande gegeben worden.

Ich habe hier noch des kleinen Elektricitätsentladers von Plössl zu gedenken, der in Fig. 221 dargestellt ist, und wofür Plössl 5 Gulden Conv.-M. berechnet. Man kann damit die Wirkung der Elektricität auf Objecte prüfen, die sich unter dem Mikroskope befinden. Der kleine Apparat ist nichts anderes als ein gewöhnlicher Entlader im Kleinen; er kann auf den Objecttisch gestellt werden und ist jedenfalls ganz zweckmässig eingerichtet. Allein der einfache, leicht herzustellende Apparat, den ich früher (II, S. 145) beschrieben habe, macht ihn ganz entbehrlich.

Fig. 221.



Plössl's Elektricitätsentlader.

Bei Versuchen über die Veränderungen der Blutkörperchen durch elektrische Entladung benutzte Rollett (*Sitzungsb. d. Kais. Akad. in Wien.* L. 2. Abth. S. 178) diese Einrichtung, mit dem Unterschiede jedoch, dass die Stanniolstreifen bis fast zur Mitte der Glastafel hinreichten. Das Blutströpfchen kam dann in die Mitte, darüber ein Glasdeckplättchen, und so breitete es sich bis zu den Rändern des Stanniols aus.

Sechstes Kapitel.

Werkzeuge zur Anfertigung mikroskopischer Präparate.

137 Als man das Mikroskop zuerst zu benutzen begann, beschränkte man sich fast darauf, die Objecte so wie sie in der Natur vorkommen, zu untersuchen. Kleine Insecten, die man an eine Nadel spiesste oder zwischen zwei Glimmerblättchen einschloss, wurden am meisten beobachtet. Höchstens brachte man die Flügel, die Beine, die Fühlhörner und ähnliche Theile noch besonders unters Mikroskop. Zu einer anatomisch-mikroskopischen Untersuchung waren die Instrumente, deren man sich für die Zergliederung bediente, zu grob.

Jan Swammerdam (geb. 1637, gest. 1680) wandte zuerst Instrumente an, wie sie die Feinheit der Untersuchung verlangte, und theilweise wenigstens sind seine vortrefflichen Untersuchungen über den inneren Bau der Insecten dadurch mit bedingt. In der Ausgabe der *Biblia naturae*, welche Boerhaave und Ganbius besorgten, findet sich Swammerdam's Leben aus Boerhaave's Feder, und hier wird über seine Instrumente Nachricht gegeben. Ausser dem von Samuel Musschenbroek verfertigten Sectionstische benutzte er ganz feine Scheeren, worin nach Boerhaave sein hauptsächlichstes Geheimniss bestand, und ausserdem hatte er auch kleine Messer und Lanzetten, desgleichen Nadeln, und zwar „so fein, dass sie ohne Vergrösserungsglas nicht geschliffen werden konnten". Die Eingeweide und die Gefässe blies er mittelst Glasröhrchen auf, die in der Glasbläserflamme in eine ganz feine Spitze ausgezogen waren. Die nämlichen Röhrchen dienten ihm auch, diese Theile mit gefärbten Flüssigkeiten zu füllen. Die zu untersuchenden Insecten tödtete er vorher in Wasser, Weingeist oder Terpentin, und die Zergliederung nahm er dann unter Wasser vor. — Alle diese von Swammerdam benutzten Instrumente sind auch von Lyonet und anderen Insectenzergliederern bis auf unsere Tage herab gebraucht worden.

Unter den von Boerhaave genannten Instrumenten kommen keine 138
kleinen Pincetten oder Zängelchen vor, womit die Theile während der Zergliederung gefasst werden. Hat sie aber auch Swammerdam nicht gekannt, so wurden sie doch zuverlässig wenige Jahre nach dessen Tode von Joh. Musschenbroek zum Erfassen kleiner mikroskopischer Objecte hergestellt, und zwar ziemlich in gleicher Form wie noch heut zu Tage (Fig. 9, S. 42).

Manchen Zwecken entspricht die Veränderung, welche Varley vor mehreren Jahren mit der Pincette vorgenommen hat, indem er ihr die in Fig. 222 abgebildete Form gab. Sie eignet sich namentlich recht gut,

Fig. 222.



Varley's Pincette.

um in Wasser befindliche Objecte zu fassen. Liegen diese übrigens auf dem Boden eines Gefässes, dann ist ein von Edwin Quekett erfundenes Instrument, woran ich ein Paar Veränderungen angebracht habe, recht brauchbar. Dasselbe ist Fig. 223 (a.f.S.) dargestellt. Eine Messingröhre *ab*, 5 bis 6 Millimeter dick und beliebig lang (bis 20 Centimeter und mehr),

hat oben zwei Messingdrähte *c* und *d* angelöthet, die weiterhin zu einem Ringe verbunden sind. In der Röhre steckt die stählerne Sonde *ep*, die oben in ein plattes Metallstück *fg* eingeschraubt ist. Dieses Metallstück hat zwei seitliche Oeffnungen *ii*, wo die Drähte *c* und *d* durgehen, und an beiden Enden ist es ringförmig umgebogen für den Zeige- und Mittelfinger, während der Daumen in den höher liegenden Ring kommt. Nach unten ist die Sonde *ep* gespalten, und die beiden Theile sind gut gehärtet und dadurch federnd, dabei aber pincettenartig gebogen, so dass sie fassen, wenn die Röhre *ab* nach unten drängt.

Fig. 223.



Schieberpincette.

139 Die Zahl der schneidenden Instrumente hat in den letzten Jahren durch die verschiedenen Doppelmesser zugenommen, wozu die erste Idee von Valentin (*Repertorium* für d. J. 1838, Bd. 4, S. 30) kam und worüber schon oben (II, S. 60) ausführlicher gehandelt worden ist.

Ein für besondere Fälle recht brauchbares Hülfsmittel zur Gewinnung von Durchschnitten ist der in Fig. 224 abgebildete kleine Schraubstock, wie ihn Chevalier liefert, der keiner besonderen Beschreibung bedarf. Mit demselben werden zarte Gegenstände, wie etwa Blätter, von denen man Querschnitte zu haben wünscht, zwischen Schichten von Fliedermark zusammengepresst.

Mancherlei Instrumente sind erfunden und in Anwendung gezogen worden, um damit dünne Durchschnitte aus harten vegetabilischen Thei-

Fig. 224.



Mikroskopischer Schraubstock von Chevalier.

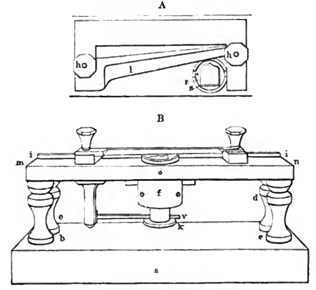
len zu bekommen. Diese sogenannten Mikrotome haben im Allgemeinen die Einrichtung, dass das Object, z. B. das Aestchen eines holzartigen Stengels, mittelst einer Schraube nach oben bewegt wird, bis es eben aus einer Oeffnung an einer grösseren platten Oberfläche zu Tage tritt. War nun das vorstehende Ende des Objectes vorher gerade abgeschnitten wor-

den, so kann man mittelst eines scharfen und flachen Messers Scheibchen von beliebiger Dicke anfertigen, indem man die Schraube höher oder niedriger stellt.

Der Gedanke, auf solchem Wege sehr dünne und gleichmässige Durchschnitte zu bekommen, liegt so nahe, dass man sich nicht wundern darf, wenn schon seit langer Zeit derartige schneidende Instrumente angefertigt worden sind. Ein solches, offenbar von sehr altem Datum, befindet sich z. B. im Utrechter physikalischen Kabinette. Es ist ein messingener durchbohrter Cylinder, in den man etwa einen kleinen Ast schieben kann. Unten daran sitzt eine Schraube, um den Theil nach oben zu schieben, und oben sind zwei schwalbenschwanzförmige Leisten für drei verschiedene Messingplatten mit Oeffnungen von $^1/_3$ bis 6 Millimeter Durchmesser. Steht nun der von der Schraube getriebene Theil gerade aus der Oeffnung hervor, so dient die Oberfläche der kleinen Platte dem Messer als Conductor.

Auf dem nämlichen Principe beruht der etwas vollständigere Apparat, den Adams (*Essays*, p. 128, Pl. IX, Fig. 1) 1770 herstellte und der späterhin von Cumming verbessert wurde. Custance, der sich durch das Anfertigen dünner Durchschnitte von Holz einen Namen gemacht hat, bediente sich eben desselben. Im Wesentlichen stimmt damit das von Quekett beschriebene Schneidewerkzeug, welches in Fig. 225 dargestellt ist, bei A von oben, bei B in der Seitenansicht. Ein Mahagoniblock *a* trägt vier

Fig. 225.



Quekett's Mikrotom.

feste messingene Sänlen *bcde*, auf denen eine ehene Platte *mn* ebenfalls aus Messing ruht, 20 Centimeter lang, 8 Centimeter hreit und fast 1 Centimeter dick. An der einen Seite hat diese Platte einen erhöhten Rand *ii*, der daran festgeschrauht ist. Mitten unter der tischartigen Platte, aber nahe dem Rande, welcher *ii* gegenüber liegt, ist ein durchbohrter messingener Cylinder oder ein Rohr *f* angeschranht, und ragt gegenüber 6 Millimeter üher die Fläche des Tisches hervor. In dieses Rohr passt ganz genau ein zweiter Cylinder *r*, der ebenfalls durchbohrt ist; die Oeffnung *s* dieses Hohlranms ist ziemlich vierseitig und hat 1,5 Centimeter Durchmesser. Dieser letzte Cylinder lässt sich durch eine Schrauhe, die 40 Windungen auf den Zoll hat, aufwärts schiehen; der dazu gehörige Knopf *k* aber hat eine Theilung in 25 Ahschnitte mit so tiefen Einschnitten, dass ein dünnes keilförmiges stählernes Stück an der Feder *v* fest eingreifen und die Bewegung der Schraube, welche als Mikrometer für den Cylinder bestimmt ist, verhindern kann. In einen festen Messingrahmen, der wie A gestaltet und fast gleich dick ist wie die tischartige Platte, ist ein unten ganz flach geschliffenes Messer mittelst zweier starker Schrauben *hh* fest eingefügt; dieser Rahmeu kann sich gemächlich vor- und rückwärts üher die Fläche jener Platte bewegen. Das Holzstückchen, von dem man einen Durchschnitt will, wird in die Höhlnng *s* des Cylinders *r* eingetrieben, so dass es ungefähr $^1/_8$ Zoll darüberragt. Hierauf bringt man den Cylinder *r* wiederum in die Röhre *f*, und beim Bewegen des Rahmens geht die Schärfe des Messers schief über jeden Theil der Oberfläche des Holzes. Je nachdem man aber die Schraube dreht, kann der Schnitt jede beliebige Dicke hekommen.

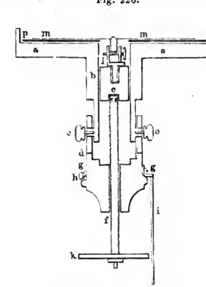
Dieser Apparat dürfte allerdings wohl seinem Zwecke recht gut entsprechen. Nur ist es zu tadeln, dass die Holzstückchen iu die Höhle des Cylinders eingetrieben werden müssen, und dass dessen Oeffnnng eine hestimmte Grösse hat, mithin Körper von geringerem Durchmesser sich darin nicht hefestigen lassen. Dem ist durch einen ähnlichen Mechanismns von Topping (Quekett l. l. p. 309) abgeholfen worden, wo die Holzstücke in ihrer Höhle durch eine Schraube festgehalten werden, die gegen eine gehogene Messingplatte drückt und diese wieder gegen das Holz.

Noch zweckmässiger in mancher Beziehung ist das Mikrotom von Oschatz (Simon's *Beiträge zur phys. u. pathol. Chemie u. Mikroskopie.* Bd. I, S. 131), welches Nösselt in Breslau verfertigt. Dasselbe ist Fig. 226 im Durchschnitte nnd in halher Grösse dargestellt. Es ist ganz aus Messing und ruht anf einem Dreifnsse, der aber in der Figur weggebliehen ist. In der Mitte der runden Platte *aa* hefindet sich das Rohr *b*, worin sich der Cylinder *c* bewegt. Ueher den unteren dünneren Theil von *b* schiebt sich ein zweites Rohr *d* und wird dnrch die hciden Schrauben *ee* festgehalten, indem die dazu gehörigen Schrauhenstifte durch zwei

Einschnitte in *d* gehen, die in der Zeichnnng nicht angegeben sind. Der untere Theil von *d* bildet die Mutter für die Schraube *f*, die, wenn *d* auf *b* feststeht, den Cylinder *c* bewegt, obne dass dieser an der Drehbewegung der Schraube Theil nimmt. Die verschiebbare Röhre *d* hat einen Ring *g*, der durch eine Schraube *h* festgestellt werden kann und mit einem Zeiger *i* versehen ist, an welchem der die Schraube bewegende Knopf *k* vorbeigeht. Der Knopf hat eine Eintheilung in 100, und da jeder Schraubengang $^1/_3$ Linie misst, so wird der Cylinder für jeden Grad dieser Eintbeilung um $^1/_{300}$ Linie bewegt. Der Cylinder *c* hat in seiner Mitte eine Scbraubenmutter, um den Objectträger *l* einzuschrauben. Die Einrichtung ist ziemlich wie bei einem Schraubenstocke; nur geht sein beweglicher Rand mittelst ein Paar Conductorstifte parallel mit dem feststehenden Rande. Damit das schneidende Messer sich über eine möglichst grosse Fläche bewegen kann, kommt auf die Platte *aa* die Scheibe *p* mit einem nicbt mit-abgebildeten Knopfe zum Abheben. Auf dieser sind aber zwei verscbiebbare Platten *mm*, und so lässt sich die Oeffnnng, wodurch das Object über die Oberfläche tritt, nach Belieben verengern.



Fig. 226.



Mikrotom von Oschatz.

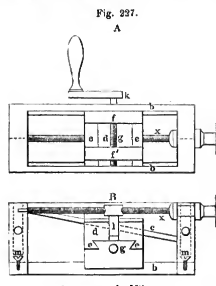
Anfangs benutzte Oschatz das Messer frei bei seinem Instrumente, später aber versah Nösselt das Messer mit einer Einrichtung zu mechanischer Bewegnng. Er giebt zwar keine ausführliche Beschreibung davon, aber nach dem Mitgetheilten ist es ein Ring, worin das Messer zwischen zwei Spitzen aufgebangen ist, wäbrend der Ring selbst ebenfalls zwischen zwei Spitzen schwebt. Die geradlinige Schneide des Messers wird durcb Federn auf der Conductorenplatte gehalten. Durch eine feine Schraube wird das Messer senkrecht gegen das Object geführt, und bei jeder Umdrehung der Schraubenaxe bewegt es sich in zwei entgegengesetzten Richtungen durch zwei abwechselnd wirkende gezahnte Stangen.

Ein von Welcker (*Aufbewahrung mikroskopischer Objecte*, S. 33) beschriebenes Mikrotom ist eine Vereinfachung des Instrnmentes von Oschatz.

Digitized by Google

Ein anderer derartiger Apparat wurde 1848 von G. F. de Capanema erfunden und von Unger in München ausgeführt (*Flora* 1848, Nr. 29, S. 465). Derselbe ist Fig. 227 in der wahren Grösse dargestellt, und zwar sieht man ihn bei A von oben, bei B im Durchschnitte mit einer der Seitenwandungen. Eine vierseitige messingene Kapsel ist an den vier Ecken durch die stählernen Schrauben *mm* mit dem stählernen Rahmen *bb*, auf dem das Messer gleitet, fest verbunden. Innen befindet sich das vierseitige Stück *d* mit zwei schwalbenschwanzförmigen Leisten *ee*; auf den gegenüberstehenden Seiten ist es von zwei schiefstehenden vierseitigen Oeffnungen durchbohrt für zwei unter einem bestimmten Winkel gestellte und mit den seitlichen Stücken verbundene vierseitige Stäbe *c*, von denen aber nur einer in der Figur gezeichnet ist. In eine dazwischen befindliche vertikale Oeffnung passt der kleine Cylinder *l*, der unten eine Mutter für die Mikrometerschraube *x* hat. Beim Drehen dieser letzteren bewegt sich das Stück *d* nach der geneigten Fläche *c* auf und nieder. Zur Feststellung des Objectes dient die Schraube *g* mit der Kurbel *k*, für welche eine mit dem Stabe *c* parallel laufende längliche Oeffnung in der Wandung angebracht ist. Durchs Umdrehen dieser Kurbel wird die stählerne Leiste *f'*, die zwischen *ee* beweglich ist, der feststehenden stählernen Leiste *f* genähert, und das Object klemmt sich zwischen beiden Leisten fest. Mit dem dazu gehörigen Messer kostet dieses Mikrotom bei Unger 6 Gulden 12 Kreuzer.

Fig. 227.

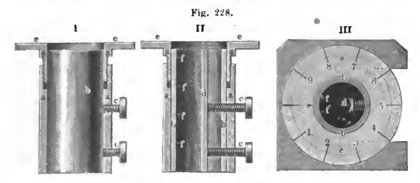


Capanema's Mikrotom.

Ein ferneres Mikrotom von James Smith (*Quart. Journ.* 1859. XXIX, p. 1) ist Fig. 228 dargestellt, und zwar bei I im halben, bei II im ganzen vertikalen Durchschnitte, bei III aber in der Ansicht von oben. Das ganze Instrument ist nur $2^1/_2$ Zoll hoch. Ein äusseres Rohr *aa* besteht aus einem oberen und unteren Abschnitte, die auf einander geschraubt werden. Der obere kürzere Abschnitt hat einen ringförmigen Vorsprung *e*, worauf die bei III sichtbare Theilung eingeschnitten ist und

kann durch die Schraubenbewegung höher oder niedriger gestellt werden. Ein inneres Rohr *b* ist gleich lang wie das äussere, und nach unten sind

Fig. 228.



Mikrotom von James Smith.

a und *b* in fester Verbindung mit einander. In dem inneren Rohre *b* sind auf der einen Seite spitzige Vorsprünge *ffff* angebracht, und gegenüber befindet sich der bewegliche Stab *d*, auf welchen die Schrauben *cc* einwirken. Bringt man daher einen Gegenstand, etwa einen Pflanzenstengel, in die Höhlung des Rohres *b*, so kann er zwischen *d* und *ffff* eingeklemmt und festgehalten werden. Ist das geschehen und die ringförmige Platte *e* herausgeschraubt, so schafft man zunächst mittelst eines Messers eine glatte Oberfläche an dem Objecte. Hierauf schraubt man den oberen Theil des Rohres *a* um einen aliquoten Theil, der an der Theilung abzulesen ist, nach unten, und je nach Bedarf wird eine dünnere oder eine dickere Lamelle abgeschnitten. Hat man erst die gewünschte Dicke erhalten, so kann man weiterhin durch Ablesen der jeweiligen Tieferschraubung gleich dicke Lamellen beschaffen.

Von den verschiedenen Mikrotomen kenne ich nur jenes von Capanema aus eigener Anschauung. Ich finde die Idee ganz gut, dass die Bewegung auf einer geneigten Fläche mit einer Schraubenbewegung verbunden worden ist, muss aber gestehen, dass ich bis jetzt nur wenig Vortheil davon gesehen habe. Wahrscheinlich erhält man mit anderen Mikrotomen, wo das Messer nicht, wie hier, lose in der Hand gehalten, sondern auf mechanische Weise oder wenigstens durch einen verschiebbaren Rahmen bewegt wird, bessere Resultate. Immer aber werden dergleichen Apparate nur einen beschränkten Nutzen gewähren; denn bei den meisten anatomischen Untersuchungen, wo man Durchschnitte von weichen thierischen und pflanzlichen Geweben braucht, sind sie ganz unbrauchbar und es verdient der Schnitt durch die geübte freie Hand bei weitem den Vorzug.

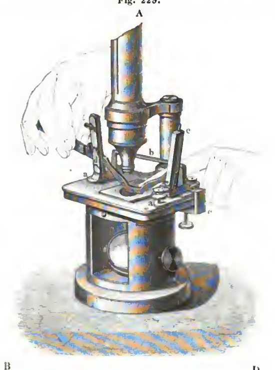
Nur für den einen Fall scheint mir eine solche mechanische Vorrichtung zum Anfertigen von Durchschnitten für die Wissenschaft Bedeutung zu haben, wenn man nämlich die Anzahl der elementaren Theile bestimmen will, die mitten zwischen anderen in einem Gewebe liegen. Man muss dann genau die Dicke des Durchschnitts kennen, was nur möglich ist, wenn man einen derartigen Apparat benutzt. Freilich muss derselbe dann aber auch eine feine Mikrometerschraube haben, wodurch das Object hervorgehoben wird, und an dieser einen eingetheilten Knopf; ferner darf auch das Messer nicht frei geführt werden, sondern es muss einen bestimmt vorgezeichneten Gang nehmen, so dass alle Durchschnitte genau die nämliche Dicke besitzen. Dadurch könnte es z. B. möglich werden, die Anzahl der Ganglienzellen in den verschiedenen Abschnitten des Rückenmarks, wenn dieses durch Chromsäure oder Alkohol erhärtet ist, zu zählen.

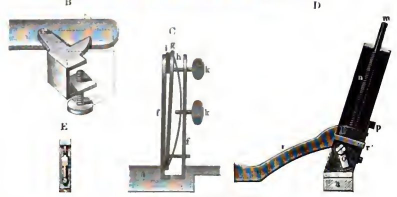
140 Bereits vor einer Reihe von Jahren hat Purkinje (Wagner's *Handwörterbuch* 1844. Art. *Mikroskop*, S. 428) an einen mikroskopischen Objecttisch mit mikrometrisch beweglichen Pincetten und Scheeren gedacht. In wie weit er diese Idee zur Ausführung gebracht hat, ist mir unbekannt. Im Jahre 1859 wurde dann von H. D. Schmidt im *Amer. Journ. of the med. Sciences* ein derartiger Apparat beschrieben: eine Platte wird auf den Objecttisch befestigt, und darauf befinden sich mancherlei Vorkehrungen, um einen Gegenstand zu halten und durch Nadeln, durch kleine Messer oder Scheeren, die durch Schrauben in verschiedenen Richtungen bewegt werden können, zu durchschneiden oder sonst zu trennen. Ich muss indessen bezweifeln, dass dergleichen zusammengesetzte Vorrichtungen, mögen sie auch noch so klug ersonnen und noch so gut ausgeführt sein, dem praktischen Mikroskopiker viel nutzen können. Ihre Verwendung wird immer eine beschränkte bleiben und die geübte Hand werden sie wohl schwer zu ersetzen vermögen.

Etwas anders steht es mit dem von V. Hensen (M. Schultze's *Arch. f. mikrosk. Anat.* II, S. 46 bis 55) erfundenen Querschnitter, womit auf dem Objecttische bei mässigen Vergrösserungen Durchschnitte gemacht werden können, und der in Fig. 229 dargestellt ist. Bei A ist der Apparat am Mikroskope in Thätigkeit. Die beiden Platten *a* und *a*, welche durch den Bügel *b* mit einander in fester Verbindung stehen, werden auf beiden Seiten durch die bewegliche Klemme *c* auf dem Objecttische festgestellt. Diese bewegliche Klemme ist bei B besonders abgebildet, und ihre Bewegung ist hier durch die punktirten Linien angedeutet. Auf der einen Platte *a* ist ein Klotz angelöthet, welcher die zur Führung des Messerstieles bestimmte Scheide *d* trägt. Diese Scheide ist bei C von der Seite besonders dargestellt: sie hat zwei feststehende Blätter *f* und *f*, ein bewegliches Blatt *g* und eine Feder *h*, wodurch letzteres

gegen den Stiel des Messers *i* angepresst wird; die beiden Schrauben *k* und *k* dienen zur Regulirung des Druckes. Das Messer hat somit eine leichte

Fig. 229.





V. Hensen's Querschnitter.

Bewegung, kann aber doch in jeder Lage stehen bleiben, wenn man es loslässt und die Hand frei haben will. Auf der anderen Platte *a* ist

gleichfalls ein durch Schrauben fixirter Klotz, der in seiner Höhe über dem Objecttische veränderlich ist, nnd darauf ist eine bewegliche Hülse *e* angebracht, welche das Ende des Messers enthält. Bei D ist diese Hülse für die Spitze des Messers im Durchschnitte dargestellt: auf dem Klotze *a* ruht ein Mittelstück *l* und *l*, worin die Spitze des Messers *r* unbeweglich befestigt wird, *m* ist die Führungsstange dieses Mittelstücks, *n* eine Spiralfeder zwischen dem Mittelstücke und der beweglichen Hülse, *o* ein schräg gestellter Schlitz im Mittelstücke, dnrch den eine feste Axe verläuft, so dass sich jenes drehen, heben und senken kann, *p* endlich ist ein Schieber, welcher den Knopf des Messers *r'* nmfasst und ihn so fixirt, dass das Messer ohne eine Störung des Apparates beqnem gewechselt werden kann. Bei E ist dieser Schieber von vorn dargestellt.

Die Hebnng des Messers tritt ein, wenn dasselbe auf dem Objectträger schneidet, seine Senkung dagegen, wenn man es vom Objectträger entfernt. Die Spiralfeder zwischen der beweglichen Hülse und dem Mittelstücke sorgt für prompte Senkung des Endstückes und setzt zngleich der Hebnng einen gewissen Widerstand entgegen, welcher bewirkt, dass das Messer nicht gar zu leicht über das Object hinläuft, sondern dasselbe wirklich dnrchschneidet. Von der Form und Richtung des Schlitzes hängt es ab, ob jede Zugwirkung wegfällt. Um die Stellnngsänderung bei der Bewegung des Messers zu compensiren, ist der Klotz des Drehungsapparates um so viel zu senken, als die Klinge sich verschmälert. Diese Klinge ist etwa 1 Zoll lang und $^1/_5$ Zoll hoch, auf der vorderen Seite platt oder wenig concav, ihre Schneide ein wenig convex.

Man befestigt den Apparat mit den beiden Klemmen derart am Objecttische, dass das Messer etwa $^1/_4$ des Gesichtsfeldes, und zwar des dem Beobachter zunächst liegenden bedeckt, schiebt dann mit der linken Hand das Präparat vor, drückt das Messer bis dicht an dessen Oberfläche herab, und verschiebt das Objectglas in der Weise, dass die Schneide genau über der Stelle steht, die dnrchschnitten werden soll.

Der Apparat passt natürlich nnr für Tische von einer gewissen Breite, die aber um etwa $^1/_2$ Zoll differiren kann; daher die Breite des Tisches im Falle der Bestellung angegeben werden muss. Instrumentenmacher Beckmann in Kiel liefert denselben für 7 Thaler.

Ich kenne diesen Hensen'schen Apparat noch nicht ans eigener Erfahrung, kann mir daher auch kein Urtheil über dessen Brauchbarkeit erlauben. Jedenfalls scheint demselben eine gute Idee zu Grunde zu liegen, wenn auch vielleicht die Fälle, wo er mit Vortheil verwendet werden kann, nicht gerade sehr häufig vorkommen mögen. Das schneidende Instrument und dessen Bewegnng kommen hierbei nicht allein in Betracht, sondern das Object selbst muss sich auch dazu eignen, nm von demselben auf dem Objecttische dünne Schnitte zu bekommen. Eine gewisse Härte und Resistenz ist erforderlich, sonst vermag auch das schärfste Messer

eine Trennung nicht ohne Zerrung auszuführen. Man kann sich daher recht wohl denken, dass Hensen das Gehörorgan des Krebses, die Papilla spiralis der Ohrschnecke gut damit durchschnitten hat, und dass gewiss auch noch andere Objecte sich für seine Benutzung eignen werden. Ich meine aber, dass dieser Apparat dann erst recht vortheilhaft zu benutzen sein würde, wenn er mit einem durch Schrauben oder sonst auf eine Weise beweglichen Objecttische in Verbindung gebracht wäre, wobei er an eine besondere Platte an der Seite des Objecttisches angeklammert wird. Wenn dann der Objecttisch ausser der Diagonalbewegung auch noch einer Drehbewegung fähig ist, dann kann das zu durchschneidende Object gerade in jene Stellung unter die Schneide des Messers kommen, welche dem Zwecke am besten entspricht, und besitzt dasselbe hinreichende Härte, so wird man durch Fortbewegen der Objecttafel, wobei immer neue Theile unter das Messer kommen, so viele Durchschnitte, als man wünscht, bekommen können.

Siebentes Kapitel.

Methoden zur Aufbewahrung mikroskopischer Präparate.

Die Aufbewahrung mikroskopischer Objecte ist gleich alt wie das 141
Mikroskop selbst. In dem Briefe des Willem van Boreel (S. 23) lesen wir, dass in dem Fussstücke des Mikroskopes von Hans und Zacharias Janssen, das er bei Drebbel sah, kleine Objecte (*minuta quaeque*) enthalten waren, die sich unter dem Mikroskope vergrössert wahrnahmen. Auch ist es ja ganz natürlich, dass man die einmal beobachteten Objecte auf die eine oder die andere Weise aufzubewahren suchte, um sie stets wieder betrachten zu können. Das war nun auch mit den zuerst beobachteten Objecten, den kleinen Insecten und deren Theilen, ganz leicht auszuführen; sie liessen sich ziemlich gut im getrockneten Zustande zwischen einem Glas- und Glimmerblättchen, oder zwischen zwei Glimmerblättchen aufbewahren. Von dergleichen Objecten wurden die *Vitra pulicaria* und *muscaria* benannt und sie kamen in der drehbaren Scheibe von Kircher's *Microscopium parastaticum* vor, sowie auf den hölzernen

Digitized by Google

und knöchernen Scheiben, deren man sich schon am Ende des 17. Jahrhunderts bediente.

Man begann aber auch bald an die Aufbewahrung zarter thierischer und pflanzlicher Theile zu denken. In Swammerdam's Leben von Boerhaave lesen wir, dass er die Eingeweide nnd andere Organe der zergliederten Insecten aufblies, trocknete nnd mit Firniss bestrich. Im Besonderen theilt Boerhaave mit, Swammerdam habe die Kunst verstanden, die Nerven der Insecten so herzurichten, „das sie wunderbar weich und durchsichtig blieben.“

Eine Ssmmlung mikroskopisch anatomischer Präparate wurde übrigens zuerst von Leenwenhoek angelegt. Dass er sich in deren Verfertigung auszeichnete, ersieht man nicht nur aus seinen eigenen Beschreibungen, sondern auch aus den Zeugnissen von Zeitgenossen, die seine Präparate gesehen haben, von denen ich nur Folkes (*Philos. Transact.* Vol. 32, p. 446) nennen will.

Es scheint mir nicht ohne Interesse zn sein, wenn ich hier die Liste der Präparate folgen lasse, die in dem Verkaufskataloge der Leeuwenhoek'schen Mikroskope, wovon schon oben (S. 39) die Rede war, aufgeführt werden.

Thierische Objecte.

Muskelfasern vom Walfische.
„ „ Kabeljau.
„ „ Entenherzen.
Querdurchschnitt von Fischmuskeln.
Hautschüppchen des Menschen.
Krystalllinse vom Ochsen.
Blutkörperchen des Menschen.
Leber des Kalbes.
Qnerdurchschnitt der Blase.
Harnblase des Ochsen.
Zungenpapillen vom Ochsen.
Haar vom Schafe.
„ „ Biber.
„ „ Elenn.
„ „ Bären.
„ aus der Nase.
Schuppe vom Barsch.
„ von der Scholle.
Spinnwerkzeuge einer Spinne.
Fäden einer Spinne.
Häkchen einer Spinne.
Zähne einer Spinne.
Augen einer Spinne.
Spinnwerkzeng des Seidenwurms.
Gehirn einer Fliege.
Sehnerven einer Fliege.
Fussenden einer Fliege.
Haken und Hülse vom Floh.
Füsse vom Floh.
Augen einer Libelle.
Augen eines Käfers.
Haken einer Laus.
Haut einer Laus.
Legestachel einer Laus.
Blutkoralle.
Durchschnitt einer Austerschale.
Noch nicht ausgekrochene Anstern in einer kleinen Röhre.

Pflanzliche Objecte.

Quer- und Längsdnrchschnitt von Ulmenholz.
Qner- und Längsdurchschnitt von Fichtenholz.
Qner- nnd Längsdurchschnitt von Ebenholz.
Quer- und Längsdurchschnitt von Lindenholz.
Quer- und Längsdurchschnitt von Eichenholz.
Quer- und Längsdurchschnitt von Zimmet.
Quer- nnd Längsdurchschnitt von Kork.
Quer- und Längsdurchschnitt von Binsen.
Durchschnitt von fossilem Holze.
Keim von Roggensamen.
Gefässbündel aus der Muskatnuss.

Mineralien.

Stückchen Marmor, Bergkrystall, Diamant,
Blattgold, Goldstaub, Silbererz, Salpeter u. s. w.

Wir erfahren nicht, wie diese Objecte von Leenwenhoek aufbewahrt wurden, dürfen aber mit ziemlicher Sicherheit annehmen, dass sie blos getrocknet wurden, wie man es bis noch vor mehreren Jahren fast allein zu thun pflegte. Allen Mikroskopen aus dem vorigen Jahrhunderte und ans der ersten Zeit des gegenwärtigen Jahrhnnderts waren immer eine Anzahl getrockneter Objecte auf beinernen oder hölzernen Scheibchen beigelegt, wobei man aber weniger das Wissenschaftliche im Auge hatte, als vielmehr nur ein nettes Aeussere und eine zierliche Form der aufbewahrten Objecte. In England machte sich Custanee einen Namen dnrch seine vorzüglichen Holzschnitte, in Holland zeichneten sich Abraham Ypelaar (geb. 1735, gest. 1811) nnd Daniel Scholten hierin sowohl wie in der Anfertigung vieler anderer mikroskopischer Präparate aus. Die beiden letzteren haben die Liebe zum Mikroskope bei ihren Zeitgenossen und Landsleuten gefördert, und die hinterlassenen Präparate über die Entwickelung und den Bau des Flohs, der Laus, der Florfliege u. s. w. sind gläuzende Beweise für ihre geübte Hand und ihr scharfes Ange.

Späterhin wurde das Trocknen der mikroskopischen Präparate als allgemeine Aufbewahrungsmethode besonders von Ehrenberg (*Abhdl. d. Berl. Akad.* 1835, S. 141) anempfohlen; das Trocknen sollte durch schwache Erwärmnng über einer Lampe beschleunigt werden. Er legte 1835 der Berliner Akademie eine Sammlung von 1208 Präparaten, grösstentheils Infusorien (Diatomeen?), vor, deren Bau bei manchen im getrockneten Zustande besser zu erkennen war, als im frischen Zustande. Die Fasern der Muskeln, der Sehnen und der Häute, selbst die Primitivröhren

Digitized by Google

der Nerven, des Rückenmarks und Gehirns sollten nach Ehrenberg durch schnelles Trocknen ihre ursprüngliche Form behalten.

142 Wer indessen die elementaren Theile von Thieren und Pflanzen blos getrocknet aufzubewahren versuchte, wird gefunden haben, dass zwar die allgemeinen Umrisse sich erhalten, die feinere Structur aber grösstentheils verloren geht. Auch sind diese einfach getrockneten Präparate mehreren thierischen und pflanzlichen Parasiten ausgesetzt, so dass sie binnen weniger Jahre oftmals vollständig verwüstet werden. Jedenfalls müssen sie vor dem Luftzutritte geschützt werden.

Die Anwendung von Flüssigkeiten zur Aufbewahrung organischer Theile ist aber nicht blos deshalb nöthig, damit die organischen Theile ihre Form behalten; ihre Durchsichtigkeit wird dadurch auch erhöht und es werden manche Einzelnheiten sichtbar, die man in der Luft nicht daran wahrnehmen kann. Namentlich gilt das von den das Licht stark brechenden Flüssigkeiten, wie Terpentin, mehrere aus Harz und Terpentin bestehende Firnisse u. s. w. Ihrer bediente sich schon Lieberkühn zur Aufbewahrung seiner Injectionspräparate, von denen manche auch in neuerer Zeit noch nicht übertroffen worden sind.

Pritchard (*Microsc. Cabinet*, p. 230) scheint zuerst auch bei anderen getrockneten Objecten den Terpentinfirniss angewendet zu haben. Manchmal benutzte er aber auch eine Gummisolution statt desselben. Den Canadabalsam, der jetzt fast ausschliesslich dazu benutzt wird, hat Bond im Jahre 1832 auf J. F. Cooper's Anrathen zuerst zur Anfertigung mikroskopischer Präparate verwandt (Quekett l. l. p. 275). Diesem Beispiele folgte Pritchard nach, der in seiner 1835 erschienenen *List of Two Thousand Microscopic Objects* die erste öffentliche Nachricht darüber gab.

Das Aufbewahren der Präparate im ganz feuchten Zustande wurde in England zuerst im Jahre 1839 von Goadby versucht; 1841 machte derselbe (*Microsc. Journ.* I, p. 183) sein Verfahren bekannt, und von der *Society of Arts* erhielt er dafür eine Medaille. Er verkaufte dann seine Präparatensammlung für 500 Pfund, welche Summe durch Zeichnungen zusammengebracht wurde, mit Prinz Albert an der Spitze der Zeichnungslisten. Die Sammlung selbst wurde aber dann ans Hunter'sche Museum geschenkt. Der damalige Premier Sir Robert Peel belohnte ihn mit 150 Pfund *). Goadby benutzte bei thierischen Substanzen eine Flüssigkeit aus 4 Unzen Kochsalz, 2 Unzen Alaun und 4 Gran Sublimat auf 2 Quart (2,3 Liter) kochendes Wasser. Die Ränder des Glasplättchens,

*) Diese Data sind einem Berichte Goadby's (*Amer. Journ. of Sc.* 1852, p. 15) entnommen, worin er, und wohl nicht ohne Grund, sich darüber beschwert, dass einige Landsleute einzelne seiner Methoden späterhin als ihre Erfindung ausgegeben haben.

Digitized by Google

womit er das in einen Tropfen dieser Flüssigkeit getauchte Präparat bedeckte, bestrich er mit dem von den Lackirern gebrauchten Goldfirniss oder Goldleim, einem Gemisch von gekochtem Leinöl, Goldglätte, Animeharz und Terpentin.

Kleine Glaströge für Präparate bereitet sich Goadby auf doppelte Weise, entweder aus vier einzelnen Glasstreifen, oder aus durchbohrten Glastäfelchen. Um die letzteren zu bekommen, legt er eine Anzahl viereckiger Glastäfelchen über einander, und oben darauf ein bereits durchbohrtes Glastäfelchen oder ein Messingtäfelchen, worauf dann die Löcher mit einem Messingröhrchen von der erforderlichen Weite und 1 bis $1^1/_2$ Zoll Länge, mit Hülfe des gewöhnlichen Zwickbohrers und angewässerten feinen Sandes gebohrt werden.

Griffith (*Annals and Magaz. of Nat. Hist.* XII, p. 115) empfahl die Goadby'sche Flüssigkeit auch zum Aufbewahren von Pflanzenpräparaten. Er prüfte auch verschiedene Körper auf ihre Tauglichkeit zum Verschliessen: 1) eine Lösung von Canadabalsam in Aether oder Terpentinöl, die so weit abgedampft ist, dass sie mit einem Pinsel aufgetragen werden kann; 2) eine Mischung von Goldleim und Bleiweiss; 3) eine Mischung von Goldleim und Mennige; 4) eine Mischung von Goldleim mit Firniss. Für Objecte, die zu dick sind oder keinen Druck vertragen können, benutzte Griffith Glastäfelchen mit ausgeschliffenen Höhlungen, oder auch Glasringe, die mit Canadabalsam auf ein Glastäfelchen aufgeklebt wurden.

Speciell zur Aufbewahrung von Algen empfahl Thwaites in Bristol (*Ann. and Magaz. of Nat. Hist.* 1844, XV, p. 104) eine Mischung aus 1 Theil Alkohol und 12 Theilen Wasser mit so viel Kreosot, als sich darin löst. Nach einer späteren Vorschrift (Ralf's *Desmidiae*, p. 40) sollen es 16 Theile Wasser sein. Diese Mischung wird mit etwas Kalk geschüttelt und filtrirt, und es wird ihr die gleiche Menge Campherwasser zugesetzt. Thwaites nahm Glimmerblättchen zum Bedecken und Goldleim zum Verschliessen. Sollen die Objecte vor Druck bewahrt werden, so bereitet er erst einen seichten Trog, indem er auf ein Glastäfelchen einen Ring aus Goldleim aufträgt. Mehrere Jahre früher hatte aber Valentine und später auch Holland (*Transact. of the Soc. of Arts.* Vol. 48, p. 123) solche kleine Tröge mit Bleiweiss hergestellt. Um den Farbstoff auf das Glas aufzutragen, benutzte Ersterer ein keilförmig zugeschnittenes Stückchen Palmholz nach Art einer Maurerkelle. Indem man successiv immer neue Lagen darauf setzt, sowie die früheren trocken sind, kann man diesen Trögen oder Zellen eine beliebige Tiefe verschaffen.

Für das Aufbewahren von Pflanzenpräparaten soll nach Reckitt (*Ann. and Mag. of Nat. Hist.* XV, p. 242) gewöhnliches Wasser vor der Goadby'schen Solution den Vorzug verdienen. Noch später wurde von

Digitized by Google

Warrington (Quekett l. l. p. 271) Glycerine dazu empfohlen, rein oder mit 2 Theilen Wasser gemischt.

Aber auch auf dem Continente beschäftigte man sich mit der vortheilhaften Aufbewahrung mikroskopischer Objecte. Ich selbst benutzte seit 1841 bei den phytotomischen Demonstrationen eine Chlorcalciumsolution, um zu verhüten, dass die Präparate bis dahin, wo sie gezeigt wurden, eintrockneten, und dabei erkannte ich, dass die Präparate sich damit auf unbestimmte Zeit in unverändertem Zustande erhalten.

Mehrere Bewahrmethoden, von denen bereits im zweiten Bande (S. 296) die Rede gewesen ist, datiren vom Jahre 1843. Um diese Zeit und zum Theil noch früher beschrieb auch Oschatz (*Uebersicht d. Arbeiten u. Verh. d. Schles. Ges. für väterl. Cultur im Jahre* 1841. Simon's *Beiträge zur phys. u. pathol. Chemie u. Mikroskopie* 1843, I, S. 134 u. 317) brauchbare Methoden. Für pflanzliche Substanzen benutzte er eine starke Zuckersolution, für thierische eine gesättigte Anflösung von arseniger Säure. Sie kommen in diesen Flüssigkeiten zwischen zwei Glastäfelchen, die durch Ringe aus weissem Papier oder aus dem Marke von Pflanzenstengeln etwas auseinander gehalten werden. Seine spätere Methode aber besteht darin, dass er die Stelle des Glastäfelchens, wo das Präparat hinkommen soll, mit einem Blättchen Fischleim bedeckt und dann das ganze Täfelchen einige Male mit einem mit etwas Russ versetzten Copalfirniss überstreicht. Ist dieser getrocknet, so wird das Fischleimblättchen weggenommen und es bleibt so ein freier Raum zurück, der vom eingetrockneten Firniss randartig umgeben ist. Zum Schliessen benutzt er den nämlichen Firniss oder Asphaltlack.

Auch Pappenheim (Simon's *Beiträge* u. s. w. I, S. 500) gab 1843 Nachricht über die Aufbewahrung mikroskopischer Präparate, wozu er je nach der Art des Gewebes verschiedenartige Flüssigkeiten nahm: blosses Wasser für Knochen, Knorpel, quergestreifte Muskeln, Embryonen; Säuren, namentlich Essigsäure, für alle Präparate mit Kernen oder mit Nerven, für das elastische Gewebe, die unwillkürlichen Muskeln; Aetzkalien in verschiedenen Graden der Verdünnung für Gehirn, Rückenmark, Embryonen; kohlensaures Kali für Blutgefässe, für eingespritzte Organe, für Rückenmarksdurchschnitte; weissen Syrup mit $^1/_{100}$ Strychnin, um dadurch die Gährung zu verhüten, für die Stäbchenschicht der Netzhaut, die *Macula lutea*, flimmernde Oberflächen; Eupion für die gefärbten Zwillingszapfen der Vogelnetzhaut. Das Präparat kommt in einer dieser Flüssigkeiten auf ein rundes oder vierseitiges Glastäfelchen, welches auf einem hohlen dünnwandigen Cylinder (einem mikroskopischn Ständer nach Pappenheim) anfliegt, der $^3/_4$ Zoll hoch, $^1/_2$ Zoll breit ist und einen als Fuss dienenden Rand besitzt. Der Durchmesser dieses hohlen Cylinders muss etwas kleiner sein, als das darauf kommende Glastäfelchen. Am Rande befindet sich eine Vertiefung für die überschüs-

Digitized by Google

sige Flüssigkeit, wenn das Präparat mit einem Gläschen bedeckt und auf passende Weise comprimirt wird. Endlich werden die Ränder mit Asphaltlack oder Schellackfirniss bestrichen.

Purkinje (Wagner's *Handwörterbuch* I, S. 436) empfahl diese Ständer ebenfalls. Zur Aufbewahrung benutzte er zum Theil die gleichen Flüssigkeiten, wie Pappenheim, nämlich Wasser, Essigsäure, Aetzkali, und ausserdem eine Solution von Kochsalz, die Goadby'sche Flüssigkeit, Oel. Wenn die Präparate nur einen bestimmten Druck vertragen, so brachte er vorher drei oder vier kleine Wachskügelchen zwischen die beiden Glastäfelchen. Den Schluss bewirkte er durch einen Firniss von Copal, Asphalt oder Dammarharz.

Wasserglas wurde seit 1856 von Welcker, auf Anrathen von Phoebus, zur Aufbewahrung mikroskopischer Präparate verwendet, worüber ich früher schon gesprochen habe.

Von Deane (Hogg's *Microscope* etc. p. 75) wurden zweierlei Gemische zum Aufbewahren pflanzlicher und thierischer Substanzen, kleiner Thiere u. s. w. empfohlen. Zuerst ein Gemisch aus 6 Unzen weisser Gelatine, 9 Unzen Honig, etwas Alkohol und einigen Tropfen Kreosot, was im erwärmten Zustande filtrirt wird. Seine zweite Mischung besteht aus 4 Unzen Glycerine, 2 Unzen destillirtem Wasser und 1 Unze Gelatine. Die Gelatine wird zuerst im erwärmten Wasser gelöst und dann wird die Glycerine zugesetzt.

Topping (Hogg's *Microscope*, p. 88) nimmt 1 Theil absoluten Alkohol auf 5 Theile Wasser. Kommen zartere Farben in Betracht, so nimmt er lieber 1 Theil essigsaure Alaunerde auf 4 Theile destillirtes Wasser.

Von R. J. Farrants (*Quart. Journ.* 1858. *Transact.* p. 118) wird zur Aufbewahrung der meisten thierischen und pflanzlichen Gewebe eine Mischung aus gleichen Theilen Gummi arabicum, Glycerine und einer gesättigten wässerigen Solution von arseniger Säure empfohlen. Diese Mischung wird ganz wie Canadabalsam benutzt, braucht aber nicht erwärmt zu werden. Auch hat man nicht nöthig, die damit behandelten Präparate besonders zu verkitten, da die äusseren Schichten der Bewahrflüssigkeit soweit erhärten, dass die weitere Verdunstung verhindert wird.

Bei A. Chevalier (*L'etudiant micrographe.* Par. 1865, p. 302 — 314) findet man noch mehrere Vorschriften zu Bewahrflüssigkeiten von Strauss, Lequoy, Morel, Ordonez. Sie sind indessen meistens nur kleine Modificationen schon gebräuchlicher und bereits früher besprochener Gemische.

Um schnell und sicher ein kleines Object oder einen Theil eines 143
solchen in einem früher gefertigten Präparate auffinden zu können, oder um auch Andere dazu in den Stand zu setzen, sind in den letzten Jahren

mancherlei Vorrichtungen angegeben werden, die man als Indicatoren oder Finder bezeichnet hat.

Tyrrell (*Quart. Journ.* 1853, III, p. 234) benutzt eine kleine hölzerne oder elfenbeinerne Tafel, an deren langer und breiter Seite zwei kleine Platten so befestigt sind, dass der übrig bleibende Raum gerade die Grösse des Objecttäfelchens hat. Die grössere oder untere Tafel hat eine vierseitige Oeffnung, und auf dem längeren von den beiden Plättchen findet sich eine Theilung in $^1/_{50}$ Zoll, so lang wie die vierseitige Oeffnung. Das Glastäfelchen mit dem Präparate kommt nun in den offenen Raum. Befindet sich ein Object im Gesichtsfelde, dessen Stelle bestimmt werden soll, so wird der bewegliche Objecttisch gegen den Beobachter hin bewegt, bis die getheilte Scala ins Gesichtsfeld kommt, und nun liest man ab, mit welchem Punkte der Scala das Object zusammenfällt. — Es passt demnach dieses Verfahren nur bei Mikroskopen mit einem durch Schrauben beweglichen Objecttische. Auch wird dadurch nur eine Linie angegeben, innerhalb welcher das Object befindlich ist, und der betreffende Punkt dieser Linie muss erst noch aufgesucht werden.

Bald darauf beschrieb Wright (*Quart. Journ.* 1853, p. 301) eine ähnliche Einrichtung, wobei die getheilte Scala auf dem Objecttische selbst angebracht ist. Die Hauptverbesserung liegt aber darin, dass er nicht eine Scala hat, sondern zwei senkrecht auf einander stehende Scalen, wodurch der betreffende Punkt in der nämlichen Weise angezeigt wird, wie irgend ein Punkt auf der Landkarte durch die Meridiane und die Parallelen.

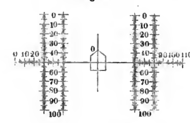
Etwa um die nämliche Zeit gab Amyot (*Quart. Journ.* IV, p. 303) eine Art elfenbeinernen Index an, der sich um eine Axe dreht: das eine Ende desselben hat eine getheilte Scala, das andere in eine Spitze auslaufende Ende bewegt sich über eine zweite aber gebogene Scala.

Auch der von Brodie ersonnene und von Okeden (*Quart. Journ.* 1855, X, p. 169) beschriebene Indicator stimmt im Wesentlichen mit jenem von Wright überein.

Ein anderer Weg wurde von Bridgman eingeschlagen. Dieser beschrieb 1855 (*Quart. Journ.* XI, p. 237) eine Vorrichtung, die an das Objectivsystem befestigt wird, und woran sich ein kleiner Diamant befindet, der gerade unter die unterste Linse und somit über das Object gebracht werden kann. Bewegt man das Mikroskop nach abwärts, bis der Diamant aufstösst, und dreht man dann das Objectiv herum, so zieht man einen kleinen Kreis gerade um das Object. Diese Einrichtung dürfte aber ihrer Kostbarkeit wegen nur etwa für solche brauchbar sein, die mit angefertigten Probeobjecten Handel treiben. Uebrigens hat sie vor den bisher beschriebenen den grossen Vorzug, dass sie die Stelle des Objects für alle Mikroskope angiebt, nicht blos für jenes, mit welchem die Bestimmung ausgeführt wurde.

Gerade deshalb erfand Bailey (*Quart. Journ.* 1855, XIII, 55) seinen sogenannten Universalindicator, der Fig. 230 in halber Grösse dargestellt ist. Seine Verbesserung besteht hauptsächlich darin, dass auf der Tafel mit der horizontalen und vertikalen Eintheilung zugleich auch zwei einander kreuzende Linien angebracht sind, deren Kreuzungspunkt erst in die Mitte des Gesichtsfeldes kommen muss. Um aber dabei das Licht nicht abzuhalten, ist dieses Kreuz auf ein gerade in die Oeffnung passendes Stückchen Papier gezeichnet, das sich von drei Seiten abheben und zurückschlagen lässt, sobald gehörig centrirt ist; oder das Kreuz ist mit einem Diamanten auf ein in die Oeffnung passendes Glastäfelchen aufgetragen. Sind nun die Scalen (50 Abtheilungen auf 1 Zoll) auf Stahl, Messing oder Stein gravirt, so kann man gleiche Abdrücke auf Papier machen, und wer einen solchen Abdruck hat, der kann leicht mit seinem Mikroskope das Object wiederfinden, dessen Stelle mit einem andern, aber doch gleichen Indicator einmal bestimmt worden ist. Um dies noch genauer zu können, zieht Bailey auf dem Glase der Objectplatte mit einem Diamanten noch Linien, eine der Länge nach, die nur den mittlern Theil für das Object frei lässt, und zwei andere zunächst den Enden, die sich rechtwinkelig mit der ersteren schneiden. Diese Linien lässt man statt der Ränder des Objecttisches mit den Theilungen zusammenfallen, durch welche die Stelle des Objectes bezeichnet wird.


Fig. 230.



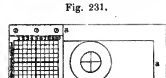
Bailey's Universalindicator.

Weiterhin gab Amyot (*Quart. Journ.* 1855, XIV, p. 152) eine Einrichtung an, die in der Hauptsache mit Bailey übereinstimmt. Nur nimmt er als mittleres Stück eine kleine knöcherne Scheibe, die gerade in der Mitte eine ganz kleine Oeffnung für das Centrum des Gesichtsfeldes hat; ist sie dort, so wird die kleine Scheibe an einem daran befindlichen kleinen Stifte weggehoben. Die mit dem Diamanten auf die Objectplatten gezogenen Linien erachtet er übrigens für überflüssig.

Die *Microscopical Society* in London beauftragte eine Commission (H. H. Jackson, Brooke, Wenham) mit der Prüfung der Indicatoren, und diese empfahl in ihrem Berichte (25. Juni 1856) einen Indicator, der Fig. 231 in halber Grösse dargestellt ist, jedoch mit Weglassung der feinsten Theilungen. Der Rahmen *aaa* aus Metall oder Holz ist $3^1/_4$ Zoll lang und $1^1/_2$ Zoll breit. An der Aussenseite befindet sich ein erhabener Rand, $^1/_4$ Zoll breit, wozwischen die Glastafel mit dem Präparate gelegt wird. In der Mitte zeigt sich eine zollbreite Oeffnung. Links befindet

sich eine vierseitige Messingplatte, die so weit über den Rahmen hervorstebt, dass ein Objectgläschen von gewöhnlicber Dicke darunter gescho-

Fig. 231.



Indicator der Microscopical Society.

ben werden kann. Auf dieser Messingplatte ist die Tbeilnng mit den sicb recbtwinkelig kreuzenden Linien, die $^1/_{50}$ Zoll auseinander steben, angebracbt. Die mittleren Linien sind die dickeren. — Will man diesen Indicator gebraucben, so bringt man zunächst ein Glastäfelcben von der gewöbnlichen Grösse der Objecttäfelchen, in dessen Mitte mit dem Diamanten ein Kreuz gezogen ist, in den Rahmen und schiebt es unter die eingetbeilte Messingplatte, bis es am oberen und am Seitenrande anstösst. Den Kreuzungspunkt bringt man hierauf in die Mitte des Gesichtsfeldes. Für die Theilungen ist ein Zeiger bestimmt, nämlich ein bufeisenförmig gebogener Messingstreifen, der an dem einen Ende in eine feine Spitze ausläuft und am anderen Ende eine Schranbe bat, wodurch er unter dem Objecttiscbe befestigt werden kann. Die feine Spitze wird so gestellt, dass sie sich gerade über dem Krenzungspnnkte der dickeren Linien auf der getbeilten Scala befindet. Nun vertauscht man das zuerst genommene Glastäfelcben mit jenem, worauf sich das Object befindet, dessen Stelle gefunden werden soll. Es kommt ebenfalls so in den Rahmen, dass es an den oberen Rand und an die Seitenwände desselben unter der Messingplatte stösst, und das ganze Object wird dann ins Gesicbtsfeld gebracbt, indem man den ganzen Rabmen bewegt. Da nun die Spitze des Zeigers den Platz nicht verändert bat, so kann man anf der Scala die beiden Zahlen ablesen, welche angeben, wie weit der Rahmen in beiden senkrechten Richtungen bewegt werden muss, um das Object in die Mitte des Gesicbtsfeldes zu bringen.

Nocb später bat auch Edwards (*Quart. Journ.* 1857, XX, p. 200) zwei solche etwas modificirte Einricbtungen bescbrieben, die etwas einfacher sind als die vorbergebende, nnd ebenso beschrieb aucb Bridgman (*Quart. Journ.* XX, p. 206) ein Verfabren, welches etwas davon abweicht, und wobei am Körper des Mikroskopes ein Zeiger angebracbt ist, der sicb an einer getheilten Scala bewegt.

Endlicb bat Maltwood (*Quart. Journ.* April 1858, p. 59) noch einen Indicator angegeben, dessen wesentliche Einrichtung darauf hinausläuft, dass eine in kleine Vierecke getbeilte pbotographirte Scala an die Stelle des Objecttäfelcbens in das Feld des Mikroskopes gebracht wird. Dabei muss aber Sorge getragen werden, dass die eine Seite gegen

einen Stopfen auf dem Objecttisch stösst, damit die Stellung immer die nämliche bleibt.

Aus dieser gedrängten Uebersicht ist ersichtlich, dass selten ein Gegenstand in so kurzer Zeit so vielfach auf zweckmässige Weise in Angriff genommen wurde, wie der Indicator. Alle diese verschiedenen Apparate sind aber überflüssig, wenn man mein oben beschriebenes einfaches Verfahren (II, S. 309) anwendet, das gerade seiner Einfachheit wegen wohl allgemeinen Eingang finden sollte, gleichwie das ebendaselbst erwähnte Hoffmann'sche Verfahren, wie man ein Object während einer Untersuchung wiederfinden kann.

Ich habe nur noch beizufügen, dass diese Methode bei einem Mikroskope, wo zum Beleuchtungsapparate ein achromatischer Condensator gehört und ein kleines erhelltes Feld auf die Objectplatte fällt, sehr erleichtert wird. Zur Ortsbestimmung kann dann ein rechtwinkelig geschnittenes Stückchen Papier benutzt werden, dessen Ecke ins Centrum der erhellten Stelle kommt. Durch die horizontale und vertikale Seite wird dann die Localität des Objectes nach Länge und Breite bestimmt.

Digitized by Google

Alphabetisches Namen- und Sachregister

des

ersten (I), zweiten (II) und dritten (III) Bandes.

A.

B.

C.

Digitized by Google

E.

F.

G.

H.

J. und I.

K.

L.

M.

Digitized by Google

N.

O.

P.

Q.

R.

S.

T.

V.

W.

JAN 23 1917

Digitized by Google

Digitized by Google



BOUND

APR 10 1941

UNIV. OF MICH.
LIBRARY

QH
211
.H335
1866

Harting

Mikroskop

0703691



Digitized by Google